



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**“MAESTRIA EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL”**

**ESTUDIO INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO BURGAY  
Y EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO POR LA PROBABLE  
PRESENCIA DE PLAGUICIDAS**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
MAGISTER EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**AUTOR: Dra. Guillermina Pauta Calle.**

**DIRECTOR: Ing. José Vicente Chang Gómez.**

**CUENCA, ECUADOR**

**(2014)**



## RESUMEN

Se estudia la calidad del agua del río Burgay en la Provincia del Cañar, empleando índices: ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la calidad físico-química y bacteriológica; y BMWP (Biological Monitoring Working Party) para la calidad biológica, basado en macroinvertebrados acuáticos.

La actividad agrícola y ganadera es preponderante en la microcuenca, por lo que se evalúa también la contaminación difusa que recepta el río por la presencia de plaguicidas, y el riesgo toxicológico asociado; algunas estaciones de monitoreo, superaron las concentraciones permitidas por la Normativa Ecuatoriana Tulas, para fuentes destinadas a abastecimiento humano y que sólo requieren desinfección: 10 ppb para los plaguicidas órgano clorados (OC), y 100 ppb para los plaguicidas órgano fosforados (OF).

Este estudio integral, define los usos a los que puede destinarse el recurso, abastecimiento público, recreativo, pesca y vida acuática, agrícola e industrial.

La evaluación se realizó mediante un monitoreo sistemático por un período de diez meses, de Febrero a Noviembre del año 2013.

Se plantea la necesidad de interceptar las aguas residuales domésticas de las poblaciones mayores ubicadas en la microcuenca, y que actualmente descargan al cuerpo receptor; así como la implementación de un sistema de vigilancia de plaguicidas, en el agua destinada a consumo humano, en las comunidades que usan el recurso, sin tratamiento previo.

Palabras claves: contaminación, índice de calidad, plaguicida, riesgo toxicológico.



## ABSTRACT

Water quality of the Burgay river basin in the Province of Cañar - Ecuador was studied by using two water quality indices: ICA of the Mexican Institute of Water Technology, for the physical- chemical and bacteriological quality; and BMWP (Biological Monitoring Working Party) for the biological quality based on aquatic macro-invertebrates.

Crop and livestock activity is predominant in the basin, therefore diffuse pollution was also assessed by the presence of pesticides and associated toxicological risk; some monitoring stations exceeded concentrations permitted by the Ecuadorian Legislation called "Tulas" to sources intended for human supply and just require disinfection: 10 ppb for organ chlorinated pesticides (OC), and 100 ppb for organ pesticides phosphorus (OF).

This comprehensive study identifies the uses to which the water resource can be used: public water supply, recreation, fishing and aquatic, agricultural and industrial life.

The evaluation was performed by systematic monitoring for a period of ten months, from February to November 2013.

There is a need to intercept domestic wastewater of the largest populations in the basin, which is currently discharged directly to the river; and implementing a monitoring system for pesticides in drinking water of communities that use the resource, without pre-treatment.

Keywords: pollution, water quality index, pesticide, toxic.



## LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1: CLASIFICACIÓN DE LA OMS (1996) PARA LOS PESTICIDAS Y EJEMPLOS DE CADA CLASE.....	42
TABLA 2.2: CRITERIOS DE LA IARC PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS.....	46
TABLA 3.1: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES GEOMORFOLÓGICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY.....	49
TABLA 3.2: FORMACIONES GEOLÓGICAS PRESENTES EN LA ZONA .....	51
TABLA 3.3: SUPERFICIES COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY.....	57
TABLA 3.4: ESTACIÓN METEOROLÓGICA PROMAS UNIVERSIDAD DE CUENCA.....	58
TABLA 3.5: ESTACIÓN METEOROLÓGICA PROMAS UNIVERSIDAD DE CUENCA.....	58
<b>TABLA 3.6. OBJETIVOS, VARIABLES, INDICADORES, E INSTRUMENTOS, DEFINIDOS PARA EL ESTUDIO.....</b>	<b>60</b>
TABLA 3.7: PROGRAMA DE MONITOREO CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BURGAY.....	62
TABLA 3.10: RANGO DE CLASIFICACIÓN DEL ICA, SEGÚN CRITERIO GENERAL.....	67
TABLA 4.1: CLASIFICACIÓN DE MUESTREOS POR CAUDALES.....	81
TABLA 4.2: VALORES DEL ICA POR ESTACIÓN .....	82
TABLA 4.3: CRITERIO GENERAL DEL ICA POR ESTACIÓN Y MUESTREO.....	83
TABLA 4.4: USOS DEL AGUA EN CAUDAL BAJO .....	84
TABLA 4.5: USOS DEL AGUA EN CAUDAL MEDIO .....	85
TABLA 4.6: USOS DEL AGUA EN CAUDAL ALTO .....	86
<b>TABLA 4.7: INDICES BIOLÓGICOS Y CRITERIO POR MUESTREO.....</b>	<b>87</b>
TABLA 4.8: ANÁLISIS DE RESIDUOS DE PESTICIDAS POR MUESTREO.....	88
TABLA 4.9: RIESGO TOXICOLÓGICO POR ESTACIÓN.....	89
TABLA 4.10: EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BURGAY EN EL PERIODO DE ESTUDIO .....	92
TABLA 4.11: RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ELIMINANDO LOS NUTRIENTES .....	104
TABLA 5.1: VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE ICA RESPECTO AL CAUDAL.....	115
TABLA 5.2: RESUMEN DE ESTUDIO DE CALIDAD DEL RÍO BURGAY: SENAGUA, 2012 .....	126



## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 3.1: UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL BURGAY EN LA CUENCA DEL RÍO PAUTE.....	48
FIGURA 3.2: SISTEMA DE COORDENADAS WGS84, 17S.....	50
FIGURA 3.3: MAPA DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY.....	57
FIGURA 3.4: ESTACIONES DE MONITOREO.....	61
FIGURA 3.6: FUNCIÓN DE TRANSFORMACIÓN PARA LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	65
FIGURA 3.7: EJEMPLO DEL USO DE LA RED DE PANTALLA. FUENTE: GONZALO CÓRDOVA.....	69



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

- SENAGUA: Secretaría Nacional del Agua, Cuenca Hidrográfica del Santiago
- TULAS: Texto Unificado de la Legislación Ambiental Ecuatoriana
- ppb: Partes por billón
- OC: Plaguicidas Organoclorados
- OF: Plaguicidas Organofosforados
- EMAPAL: Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Azogues
- VLIR-IUC: Vlaamse Interuniversitaire Raad – Cooperación Inter Universitaria
- ICA: Índice de Calidad del Agua Físico-Químico y Microbiológico
- BMWP: Biological Monitoring Working Party
- HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- NSF: Fundación de Sanidad de los Estados Unidos
- QBR: Riparian Forest Quality
- EPA : Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
- PCB: Bifenoles policlorados
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (OMS)
- IRIS: Sistema de Información Integral de Riesgos
- UNDP: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- CONAGUA: Comisión Nacional del Agua de México



## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
LISTA DE TABLAS.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
TABLA DE CONTENIDOS .....	6
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	13
1.2 JUSTIFICACION .....	13
<b>CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
2 Revisión Bibliográfica .....	17
2.1 CONCEPTOS GENERALES Y ASPECTOS DE ESTUDIO DE UN RÍO .....	18
2.1.1 Paisaje de la cuenca .....	18
2.1.2 Factores constitutivos de un río .....	21
2.1.3 El agua.....	21
2.2 CALIDAD FISICO-QUMICA Y BIOLOGICA DE LOS RIOS.....	27
2.2.1 Indicadores Organolépticos .....	28
2.2.2 Indicadores Físicos .....	28
2.2.3 Indicadores Bioquímicos .....	29
2.2.4 Indicadores Químicos Básicos.....	30
2.2.5 Indicadores Bacteriológicos .....	32
2.2.6 Indicadores Biológicos .....	33
2.3 INDICES DE CALIDAD DEL AGUA EN BASE A LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS .....	34
2.3.1 Indices de Calidad Físico-químicos (ICA) .....	35
2.3.2 Índices de Calidad Biológicos .....	38
2.4 ASPECTOS TOXICOLOGICOS DEL AGUA .....	39
2.4.1 Los pesticidas en el agua, su origen, efectos en la salud humana y en los ecosistemas ... .....	40



2.4.2	Toxicología de los Insecticidas .....	40
2.4.3	Evaluación del riesgo toxicológico .....	45
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>48</b>
3	Materiales y Métodos .....	48
3.1	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	48
3.1.1	Características geomorfológicas.....	49
3.1.2	Descripción geológica .....	49
3.1.3	Vegetación .....	56
3.1.4	Temperatura .....	58
3.1.5	Precipitación .....	58
3.2	TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO .....	58
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. INDICADORES.....	59
3.4	POBLACION, MUESTRA Y CAMPAÑAS DE MUESTREO.....	60
3.5	METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL .....	62
3.6	METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE ICA.....	63
3.6.1	Definición del Índice de Calidad.....	63
3.6.2	Conformación de la muestra .....	63
3.6.3	Parámetros .....	63
3.6.4	Métodos de análisis .....	64
3.6.5	Ecuaciones. (Funciones de transformación).....	64
3.6.6	Cálculo .....	65
3.6.7	Coeficientes de Ponderación por Parámetro .....	66
3.6.8	Evaluación del ICA.....	67
3.6.9	Asignación de los Usos.....	68
3.7	METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE BMWP.....	68
3.7.1	Introducción .....	68
3.7.2	Método de recolección de la muestra (Red de pantalla).....	69
3.7.3	Tratamiento de la muestra en el laboratorio.....	69
3.7.4	Puntaje y criterio .....	70
3.7.5	Índice QBR.....	72



3.8 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LOS PLAGUICIDAS .....	73
3.8.1 Recolección de la muestra.....	73
3.8.2 Técnica de análisis .....	73
3.9 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO .....	73
3.9.1 Para sustancias no cancerígenas .....	74
3.9.2 Para cancerígenos.....	76
3.9.3 Datos toxicológicos de los plaguicidas.....	77
3.9.4 Cálculo del riesgo .....	77
3.10 DESTINO AMBIENTAL DE LOS PLAGUICIDAS .....	78
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
4 Resultados.....	79
4.1 VALORES DE ICA Y USOS DEL AGUA .....	79
4.1.1 Clasificación de caudales.....	79
4.1.2 Valores del ICA.....	79
4.1.3 Definición de usos por caudal .....	79
4.2 VALORES DEL BMWP Y USOS DEL AGUA .....	79
4.3 VALORES DE PLAGUICIDAS Y COMPARACION CON NORMATIVA TULAS.....	79
4.4 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO .....	80
4.5 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONTROL.....	105
4.5.1 Control de los usos del suelo .....	105
4.5.2 Aplicación de buenas prácticas agrícolas .....	106
4.5.3 Técnicas de Fumigación .....	106
4.5.4 Alternativas para tratamiento de aguas residuales domésticas .....	107
4.5.5 Para la remoción de plaguicidas en los sistemas de abastecimiento .....	107
4.5.6 Mecanismos de restricción para la adquisición de plaguicidas .....	108
4.5.7 Para el control de los procesos erosivos .....	108
4.5.8 Disposiciones legales .....	108
4.5.9 Educación ambiental.....	109
4.6 DIFUSION DE RESULTADOS .....	109
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN.....</b>	<b>110</b>



5	Discusión.....	110
5.1	EN CUANTO AL CAUDAL.....	110
5.2	EN CUANTO AL INDICE ICA.....	110
5.2.1	Variación Temporal .....	110
5.2.2	Variación espacial .....	111
5.3	EN CUANTO A LOS INDICES BIOLOGICOS: BMWP, QBR, RIQUEZA DE FAMILIAS .....	115
5.3.1	El Indice BMWP .....	115
5.3.2	El índice QBR .....	116
5.3.3	La riqueza de familias .....	116
5.4	RELACION: ICA-BMW P.....	116
5.5	EN CUANTO A LOS PLAGUICIDAS.....	117
5.5.1	Observaciones .....	117
5.5.2	Propiedades físico-químicas de los plaguicidas, importantes en su dinámica ambiental ...	119
5.5.3	Algunas cuestiones sobre los plaguicidas que superaron la normativa TULAS.....	121
5.5.4	En cuanto al riesgo toxicológico.....	122
5.6	RELACION DEL PRESENTE ESTUDIO CON OTROS SIMILARES .....	124
5.6.1	Comparando condiciones metereológicas y de cuenca hidrográfica .....	124
5.6.2	Comparando índices .....	125
5.6.3	Comparando plaguicidas encontrados en otros ríos.....	126
5.6.4	Comparando estudios anteriores realizados en el Río Burgay .....	126
5.7	EN CUANTO A LOS USOS.....	127
5.7.1	Según el índice ICA .....	127
5.7.2	Según el índice BMW P .....	127
5.7.3	Por la presencia de plaguicidas .....	128
5.8	PARAMETROS QUIMICOS RELACIONADOS CON LA TOXICIDAD DE LOS PLAGUICIDAS .	128
5.9	UNA REVISION DEL INDICE .....	129
5.10	ASPECTOS HIDROGEOQUIMICOS DEL AGUA .....	130
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>131</b>
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	131



6.1 CONCLUSIONES GENERALES .....	131
6.2 RECOMENDACIONES .....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	135
ANEXOS .....	142



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

Yo, Gladys Guillermina Pauta Calle, autora de la tesis: "Estudio Integral de la Calidad del Agua del Río Burgay, y Evaluación del Riesgo Toxicológico por la probable presencia de plaguicidas", 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 Máster en Toxicología Ambiental e Industrial. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 16 de Junio del 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Gladys Guillermina Pauta Calle".

Gladys Guillermina Pauta Calle.

C.I: 0300691045



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Guillermina Pauta Calle, autora de la tesis "Estudio Integral de la Calidad del Agua del Río Burgay, y Evaluación del Riesgo Toxicológico por la probable presencia de plaguicidas""", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 16 de Junio del 2014

Gladys Guillermina Pauta Calle

C.I: 0300691045



## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El río Burgay nace en una región de páramo en la provincia del Cañar y constituye un tributario del río Paute, importante arteria hidrográfica del sur del país, subcuenca del Santiago, vertiente del Amazonas; en su zona baja se emplaza el proyecto Hidroeléctrico Paute, actualmente el más representativo del Ecuador.

Las inspecciones sanitarias realizadas a lo largo de la subcuenca, identificaron acciones antropológicas que impactan en la calidad del cuerpo receptor, tales como, actividad agrícola, descargas de industrias caseras de lácteos, descargas de aguas residuales domésticas no tratadas de importantes poblaciones, efluentes industriales, y la presencia de cultivos de flores ubicadas en las márgenes de los ríos “Cachihuayco” y “Tambo”, afluentes del Burgay en su zona alta.

Por los usos del suelo se concluyó entonces que la subcuenca está afectada, evidenciándose este deterioro a través de índices de calidad de agua: físico-químico (ICA) y biológico (BMWP). Desde el punto de vista toxicológico la mayor preocupación constituyó la búsqueda y la presencia de plaguicidas en el río, por lo que estos contaminantes fueron detectados y evaluados, y sus resultados se vincularon con los índices ICA y BMWP, obteniéndose así, un estudio integral de la calidad del cuerpo receptor.

### 1.2 JUSTIFICACION

La información proporcionada por la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua, Cuenca Hidrográfica del Santiago), respecto a las autorizaciones otorgadas del recurso en la subcuenca del Burgay, destaca los siguientes usos delicados:



- Río Galohay (aguas arriba del Burgay): consumo humano (25 %), generación de energía (25 %), y riego (50 %).
- Rio Burgay (cuenca media y baja): consumo humano (13 %), riego (67 %), y abrevadero (20 %), usos todos con impacto directo en la salud de los consumidores. (SENAGUA, Inventario Participativo de Recursos Hídricos, 2011).

Investigaciones recientes han reportado la presencia de residuos de plaguicidas de todas las categorías químicas, en aguas superficiales cercanas a zonas de producción agrícola en Venezuela, Colombia, y México (Benítez & Miranda, 2013).

En el Ecuador son limitadas las investigaciones al respecto; un estudio en el río Babahoyo en la cuenca del río Guayas, reportó la presencia de plaguicidas, cuyos valores superaron las concentraciones referenciales de la normativa del país. (Universidad Agraria del Ecuador, 2012). Por la toxicidad de estas sustancias, la Normativa Ecuatoriana TULAS (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Ecuatoriana), fija límites para plaguicidas en cuerpos receptores destinados como fuentes para abastecimiento humano con calidad que sólo requieren desinfección, de: 10 partes por billón (ppb) para plaguicidas órgano clorados (OC), y 100 ppb para plaguicidas órgano fosforados (OF).

Por lo tanto, es importante que en los estudios de investigación y de vigilancia de la calidad del agua se incluya la búsqueda de estos compuestos, más aún cuando las tecnologías convencionales de potabilización (corrección de las características físicas) empleadas en nuestro medio, no logran su remoción; pues se requieren de procesos especiales por tratarse de “contaminantes refractarios.”



Empresas e instituciones que tienen a su cargo la gestión del recurso hídrico, la dotación de agua potable y el saneamiento ambiental, deben mantener una preocupación permanente sobre el tema, y establecer una práctica sistemática y continua de vigilancia cercana.

El Río Burgay forma parte del escaso recurso hídrico disponible en la provincia como en el cantón Azogues, así lo confirma el último Estudio Hidrológico realizado (Estrella & Tobar, Estudio Hidrológico en la subcuenca del río Burgay, 2008); según el cual, existe un superávit hídrico climático únicamente en dos meses del año, un balance de cero durante tres meses, y en el resto del año se produce déficit.

Estudios anteriores sobre la calidad del agua del río Burgay basados en el empleo de índices, como el: “Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Paute” (SENAGUA, 2012), ya evidencian su deterioro.

El presente estudio contribuye al conocimiento actual del río Burgay al evaluar su condición físico-química y biológica, mediante un monitoreo sistemático y empleando un índice de calidad que incluye 18 parámetros, que permite estimar su nivel de contaminación, y conocer la hidroquímica del río, aspecto importante vinculado con la geología de la zona; la evaluación incluye también el diagnóstico del riesgo toxicológico por la presencia de plaguicidas.

Los resultados obtenidos definen los usos del agua en el presente; detectan las acciones que alteran su calidad, y permiten formular las alternativas de control de la contaminación. Constituye también una información de referencia para evaluar la depuración del río Burgay, una vez concluido un proyecto que lleva adelante la EMAPAL (Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Azogues), a través de la construcción de un sistema de interceptores marginales, ya en marcha,



y que captarán las aguas residuales de la ciudad de Azogues y sus parroquias aledañas, para ser conducidas a una planta de depuración, la cual posiblemente tratará en conjunto el agua residual generada tanto en la ciudad de Cuenca como las de la ciudad de Azogues.

Esta investigación se realiza dentro del proyecto VLIR “Manejo Integral de la Calidad del Agua”, el cual desarrolla el conocimiento científico de la calidad y el control de la contaminación de los cuerpos receptores integrantes de la cuenca del río Paute; se debe anotar que el estudio sobre la calidad de este río, salvo intentos parciales y ocasionales, es un trabajo pionero y que llena un gran vacío en la prevención y control de la contaminación del río Paute desde sus inicios, a partir de la confluencia de los ríos Cuenca y Burgay.



## CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El objetivo del presente trabajo, es realizar un estudio integral de la calidad del agua del río Burgay, que permita establecer sus potenciales usos en áreas específicas; y evaluar el riesgo toxicológico por la probable presencia de plaguicidas. Los resultados permiten definir la real calidad del agua, y conceptualizar las alternativas de control de la contaminación de este cuerpo receptor, para garantizar la función social y económica en las actividades vitales del recurso.

La hipótesis planteada sobre la cual se levanta la información, expresa: "si la concentración de plaguicidas en el Río Burgay sobrepasa los valores máximos permisibles por la Norma TULAS, y el valor del ICA confirma una calidad físico-química-microbiológica aceptable, entonces existe un riesgo toxicológico para la población que usa el recurso, sin tratamiento previo".

Las teorías o fundamentos requeridos para abordar científicamente el objetivo planteado, se resumen en:

- Teoría de la calidad del agua
- Fundamentos de control de la calidad del agua
- Los ríos como cuerpos receptores
- Toxicología de los plaguicidas
- Métodos de análisis de aguas y aguas residuales
- Química del agua
- Hidrología



## 2.1 CONCEPTOS GENERALES Y ASPECTOS DE ESTUDIO DE UN RÍO

Los ríos son cuerpos de agua que se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio que oscilan entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje (Sierra, Calidad del Agua, 2011).

Un río es un reactor permanentemente mezclado, y su estudio integral considera tres aspectos importantes, los que controlan la calidad del agua y permiten explicar su dinámica: a) el paisaje de la cuenca, b) los factores constitutivos de un río, y c) el agua misma (Catalán La Fuente, Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas, 1987).

### 2.1.1 Paisaje de la cuenca

Informa sobre las características del suelo y de las circunstancias externas que influyen en la constitución de un río como organismo; requiere el análisis de los siguientes aspectos:

- a) **Relieve.** Viene determinado por las curvas de nivel, que indican de una forma general la pendiente de los terrenos o laderas que forman el valle; dependiendo de la pendiente será el régimen de los arroyos que se forman en las laderas, ya que la velocidad es proporcional a la pendiente.
- b) **Clima.** Es una cualidad del medio, y depende de factores meteorológicos como, temperatura, presión, lluvia, viento y humedad; el clima produce como efecto directo una influencia en la calidad del agua. Las regiones climáticas tienden a producir comunidades características de plantas y tipos de suelo, y la composición de las corrientes de agua que drenan dichas zonas, podrían ser consideradas como el producto de un balance ecológico (Ordóñez, 2001).



Las condiciones extremadamente húmedas y secas afectan la calidad del agua. Las fuertes precipitaciones resuspenden los sedimentos e incrementan el color, la turbiedad, y el contenido de nutrientes de fósforo y nitrógeno, por el escurrimiento agrícola; pero también la solución se diluye, disminuyendo las concentraciones de algunos iones.

Los períodos de sequía en cambio, influyen en la capacidad de los ríos para diluir las descargas contaminantes, reduciendo su poder de autodepuración natural, por lo que en general se incrementa la carga orgánica y microbiana.

La temperatura es un factor importante por su influencia en la cinética de las reacciones químicas y biológicas que se llevan a cabo en el río, como, la saturación de oxígeno, reproducción de microorganismos, biodegradabilidad de materia orgánica, etc.

**c) Geología.** La calidad del agua depende de la composición química del subsuelo; suelo y agua son factores ambientales interconectados y dan lugar a importantes procesos del medio inerte como: erosión, sedimentación, salinidad, etc.; el poder solvente del agua puede solubilizar del suelo minerales de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, carbonatos y otros, provenientes de la roca madre que lo originó (Cepeda, Química de los Suelos, 2007).

Pero cualquier proceso de disolución, implica el cambio en propiedades físicas y químicas de la solución ya constituida, con respecto tanto al soluto como al propio disolvente. En el agua existen dos tipos de interacciones soluto-disolvente:



- La inducida por aquellos solutos que “refuerzan” la estructura del agua.
- La producida por solutos que la “rompen” o la distorsionan drásticamente.

Los primeros suelen ser compuestos no iónicos como los hidrocarburos y en general, moléculas no polares, las cuales se sitúan en el límite del enlace del hidrógeno, reforzando los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua; los otros son sustancias de carácter polar, provocan en el líquido reacciones complejas, por interacciones eléctricas que modifican la estructura tridimensional “normal” del agua (Marín, 2003).

La permeabilidad del suelo influye en la cantidad de agua que se infiltra y la que constituye la escorrentía, y junto a la erosionabilidad del roquedo constituyen los aspectos más importantes que intervienen en la formación de un río desde el punto de vista de sus características geológicas (Catalán La Fuente, Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas, 1987).

**d) Vegetación.** La vegetación retiene el agua de lluvia, aumentando la transpiración; en pinares muy poblados la retención es alrededor del 25% de la lluvia caída, y en las zonas forestales del 10 al 15%.

La vegetación de las riberas, constituye un corredor biológico con efecto benéfico sobre la calidad del agua en los ríos, al suministrar un filtro natural para la corriente de fuentes contaminantes no puntuales; reduce la erosión, filtra el agua de lluvia y promueve la recolección biológica de nutrientes y contaminantes, actuando así como un verdadero pulmón para los ríos.

La destrucción de los bosques de ribera altera el caudal ecológico, porque se pierde la esponja desde la cual se elimina poco a poco la humedad, aportando



así al mantenimiento de este caudal; la vegetación que nace después, es más bien consumidora de agua (Krutchker, Evaluación de la Calidad de los Bosques de ribera en ríos del noroeste de Chubut, sometidos a distintos usos de la tierra, 2009).

e) **Biogeografía.** Es el estudio de la distribución de los organismos vivos sobre la tierra; el accionar continuo del ser humano a través de actividades agrícolas, ganaderas, industriales y otras, influye en el modelado del paisaje de la cuenca, alterando no sólo la calidad del agua sino también las características del cauce por obras de ingeniería, como, puentes, embalses, represas, etc. El estudio de las relaciones del hombre con su entorno, es importante para conocer el comportamiento futuro de un río y la evolución de la calidad de sus aguas.

### 2.1.2 Factores constitutivos de un río

La pluviometría aporta el agua que llevará el río; la cuenca vertiente recoge el agua de lluvia para conducirla a la parte más baja del valle, donde discurrirá sobre las litofacies que forman el estuche del río; y las características físicas, dependerán de cómo sean las litofacies por donde discurre y se asienta el agua.

a) **Pluviometría.** Es el estudio y tratamiento de los datos de precipitación, de gran interés para las zonas agrícolas y regulación de las cuencas fluviales, a fin de evitar inundaciones por exceso de lluvia.

Un factor importante para la conformación de un río, es el régimen de precipitaciones acuosas, sobre todo la lluvia, la cual influye en el mismo de acuerdo con su intensidad, duración, cuantía, variación estacional, etc.



Cuando una precipitación cae en una zona de captación, acontecerá uno de los tres destinos principales: a) puede permanecer en el suelo como humedad de superficie, la que finalmente retornará a la atmósfera por evaporación; b) alternativamente se puede almacenar como nieve hasta que la temperatura aumente lo suficiente para derretirla; este almacenamiento es importante como fuente de abastecimiento, por ejemplo por toda Escandinavia; c) la precipitación discurre sobre la superficie como pequeños canales para convertirse en escorrentía de superficie (Ordóñez, 2001).

En relación a la pluviometría, los años se clasifican en, muy secos, secos, normales, húmedos y muy húmedos.

**b) Cuenca vertiente.** Es la superficie de terreno que recoge el agua que cae sobre ella, para llevarla al río.

En la cuenca de un río y por movimiento del agua por gravedad, se realiza una acción de degradación de los relieves de la misma, transformándose la energía potencial que tiene el roquedo, en energía cinética. Como meta final se tiende a la transformación del relieve en una perillanura de superficie isopotencial (Catalán La Fuente, Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas, 1987).

En la formación de una cuenca intervienen varios factores: climáticos, litológicos, físicos, químicos, biológicos, etc., y sus diversas interacciones. Son aspectos importantes de una cuenca, su extensión, morfología, naturaleza del suelo, cubierta vegetal, interacción entre acuíferos y cursos superficiales entre cuencas y finalmente las actuaciones del hombre.



Casi todos los suministros de agua dulce en la región y país, vienen de las precipitaciones que caen sobre el área de captación (cuenca hidrográfica).

**c) Características físicas de un río.** Un río, en cada punto de su recorrido, posee una cantidad de energía, que está en función del caudal y de la velocidad del agua. Cuando esta cantidad de energía es elevada, además de evacuar los materiales que llegan a su cauce, puede erosionar, pero en los tramos en donde la energía decrece se ve obligado a abandonar parte de los sedimentos (Grupo Océano, 1999).

Estas características de erosión y sedimentación van variando, por lo que en el río en general se pueden distinguir tres tramos: a) tramo alto o de cabecera de gran pendiente, en donde se producen con gran fuerza acciones de erosión y transporte; b) tramo medio de pendiente menor, llamada de meandros o de transporte; se caracteriza porque existe un equilibrio entre la capacidad de transporte de carga sólida y su capacidad de sedimentación; c) tramo de desembocadura, de pendiente mínima, donde se depositan los materiales sólidos transportados en amplias llanuras aluviales.

### 2.1.3 El agua

Los aspectos importantes relativos al agua son:

**a) Régimen de las aguas.** Importante para interpretar el ciclo hidrológico de una cuenca. Elementos de régimen característicos son, las variaciones estacionales, la abundancia o caudal medio, las crecidas y los estiajes, etc. Todos estos elementos requieren conocimiento de los caudales que lleva el río a lo largo del año y que varían tanto en el tiempo como en el espacio.



Un concepto importante, constituye el caudal ecológico Ce, definido como el caudal medio del día más seco del año, en m<sup>3</sup>/s.

**b) Acciones del agua.** Las aguas que discurren sobre la superficie de la tierra, ejercen tres acciones importantes: erosión, transporte y sedimentación; los materiales desalojados en las partes más elevadas por erosión, son transportados por las corrientes a lugares más bajos, y luego son depositados formando bancos de diferentes características.

Un río constituye un ejemplo didáctico de las tres funciones importantes que cumple el medio ambiente, a) es una fuente de recursos naturales, por esta razón en sus orillas se han asentado principalmente las poblaciones humanas (Sierra, Calidad del Agua, 2011); b) es el soporte de las actividades físicas, al actuar como vehículo para trasladar sustancias; c) pero también es el receptor de residuos, al operar como un canal de drenaje y receptáculo de aguas industriales, urbanas y las escorrentías agrícolas (Catalán La Fuente, Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas, 1987).

Conservar la calidad del agua que llevan los ríos tiene una importancia vital, si no se la preserva, en poco tiempo simplemente trasladarán aguas sin ningún uso; pero el aspecto que hoy prima es el efecto nocivo sobre la salud humana, debido a sustancias tóxicas que el río puede arrastrar (British Ecological Society, 1992).

**c) Características físicas, químicas y biológicas del agua.** Los ríos constituyen un sistema químico en equilibrio con animales y vegetales que subsisten dentro de él, y su calidad está asociada a multitud de minerales y rocas; así el agua es una especie química determinante de las características físicas, químicas y biológicas imperantes en el globo terráqueo.



Las sustancias y organismos que pueden estar presentes en las aguas naturales, y dependiendo de su grado de contaminación, se resumen así:

- Sustancias inorgánicas: bicarbonatos, cloruros, silicatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, etc.
- Sustancias orgánicas: detergentes, aceites y grasas, sustancias húmicas, plaguicidas, hidrocarburos, fenoles, hidratos de carbono, proteínas y otros.
- Organismos: bacterias, parásitos, virus, algas, rotíferos, hongos, etc., muchos de estos ejercen funciones importantes en la conservación del ecosistema; pero otros son patógenos.

**d) Calidad, contaminación, autodepuración.** *La calidad* del agua en un río, se refiere a la naturaleza y concentración de las sustancias que pueden estar presentes en un momento determinado; algunas son de origen natural, como resultado del recorrido que hace el río dentro de su ciclo hidrológico; pero otras son introducidas por el hombre al utilizar el cuerpo receptor como el lugar idóneo para arrojar residuos de toda naturaleza (Carretero & Pozo, 2007); así *la contaminación* procede de actividades humanas, y favorece procesos de descomposición, generando productos indeseables, algunos volátiles, como, ácido sulfídrico, fosfamina, indol, escatol, amoníaco, mercaptanos, etc. Todas estas sustancias afectan las relaciones existentes entre los organismos y su entorno físico-químico. Los organismos en todo cuerpo acuático poseen un máximo y un mínimo ecológicos, existiendo un margen de acción más o menos amplios entre ambos que representan los límites de tolerancia de las especies (Sierra, Calidad del Agua, 2011).



Los contaminantes en general pueden ser conservativos y no conservativos, no obstante es muy importante considerarlos dentro de la siguiente clasificación: (Tebbut, 1995)

- Compuestos tóxicos, que causan inhibición y destrucción de la actividad biológica, tales como: metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), plaguicidas, etc.; algunos de éstos hoy reciben el nombre de compuestos refractarios, porque resisten los procesos convencionales de tratamiento (Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, 1996).
- Materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua, como: materia orgánica, agentes químicos reductores, grasas y aceites, detergentes, etc.
- Sólidos inertes en suspensión, o disueltos, que a elevadas concentraciones, limitan los usos del agua.

Sin embargo, el río como todo cuerpo acuático posee una capacidad de *autodepuración*, es decir la posibilidad de incorporar en sus circuitos biológicos estos materiales y energía extraños, a través de varios mecanismos (Catalán La Fuente, Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas, 1987), como:

- Transporte y depósito (sedimentación) de materiales contaminantes, posiblemente alentada por la floculación bacteriana.
- Reacciones químicas y bioquímicas que se realizan en la masa del agua y en la superficie de la materia suspendida (pH, sorción, ácido-base, redox, complejación, catabolismo, asimilación-desasimilación, etc.).
- Intercambio de compuestos volátiles entre la masa de agua y la atmósfera (pérdida o entrada de oxígeno, anhídrido carbónico, nitrógeno, etc.).



- Reacción redox en los sedimentos.
- Descomposición bacteriana debida a un ambiente generalmente inhóspito para bacterias entéricas y patógenas.

La relación de todos los factores expuestos en la formación de un río, se resume así:

“El agua y la energía son un binomio interdependiente, indestructible e indivisible. Sin agua, no se transforman ni se aprovechan las fuentes primarias de energía. Sin energía, no se reactiva el clima ni se produce el ciclo hidrológico. Sin agua ni energía ninguna sociedad ni nación pueden vivir, su escasez le impediría desarrollarse. El agua no se puede importar, cada país depende de sus propios recursos” (Ordóñez, 2001).

Un problema a considerarse en el país, es que las áreas con lluvias más abundantes son al mismo tiempo las de menor población, encontrándose las ciudades más pobladas emplazadas en áreas de menor precipitación. Esto significa muchas veces la necesidad de transportar el agua de las áreas de mayor precipitación a las áreas donde la demanda es mayor, y encontrar y explorar tantos suministros alternativos, como sean posibles.

## 2.2 CALIDAD FISICO-QUMICA Y BIOLOGICA DE LOS RIOS

La calidad de un ambiente acuático presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores internos y externos al cuerpo de agua, y varían de una cuenca a otra; así los ríos tienen características propias de calidad, y es variable con el tiempo (Rauch, y otros, 1995).

Conforme los afluentes se incorporan al río principal, mezclan sus aguas con las procedentes de otras subáreas de captación aguas arriba, alterándose



constantemente la composición química del agua. “Aguas de diferentes zonas del país son por lo tanto químicamente únicas; cada fuente es un caso particular, toda generalización al respecto es inapropiada, ni su tratamiento se puede estandarizar” (Ordóñez, 2001).

Calidad es un término relativo que depende del uso que va a tener el agua o el sistema hídrico que se quiere evaluar. No existe una variable o un parámetro físico, químico y biológico que permita definir la calidad del agua en un determinado tiempo o sitio. Un resumen de los más importantes parámetros ambientales utilizados como indicadores de calidad, se expone a continuación (Sierra, Calidad del Agua, 2011).

### 2.2.1 Indicadores Organolépticos

- a) **Turbiedad.** Su presencia disminuye la producción de oxígeno por fotosíntesis, restringe los usos del agua, indica deterioro estético de la fuente, e interfiere en la desinfección y filtración. Los compuestos orgánicos productores de turbidez, poseen un notable efecto adsorbente sobre los plaguicidas existentes en general en un cuerpo de agua, incrementando la resistencia a la reducción de éstos en el posterior tratamiento del agua (Marin, 2003).
- b) **Color.** Su mayor aporte en monitoreo de agua es la descripción de las condiciones físicas o estéticas de un cuerpo de agua.

### 2.2.2 Indicadores Físicos

- a) **pH.** Origina cambios en la flora y en la fauna del ecosistema; ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, plaguicidas, etc.
- b) **Temperatura.** Los cambios de temperatura en las corrientes de agua modifican el ambiente de desarrollo de la flora y de la fauna; elevan el



potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas, disminuye la solubilidad del oxígeno, y en general influye en la velocidad de todos los procesos químicos que ocurren dentro de un cuerpo de agua.

Los sistemas fluviales, frente a otros sistemas acuáticos como lagos, muestran notables fluctuaciones diarias en la temperatura del agua, debido a la menor profundidad e inercia térmica (Margalef, 1983).

**c) Conductividad.** Indica la concentración de sales ionizadas; las más frecuentes en el agua: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, sodio, potasio, calcio, magnesio, etc. Se relaciona con los sólidos disueltos de los cuerpos de agua, constituyendo una medida indirecta del grado de salinidad.

**d) Sólidos totales.** En sus formas: sólidos suspendidos fijos y volátiles, sólidos disueltos fijos y volátiles, sólidos sedimentables, indican la presencia de partículas en suspensión, y sales disueltas de carácter orgánico o inorgánico.

Los sólidos suspendidos a lo largo del curso fluvial de una cuenca, pueden evidenciar varios factores de alteración de las condiciones naturales de la misma, sobre todo la falta de protección de los suelos. Incrementan la turbidez del agua, y con el tiempo la sedimentación de materiales en los fondos, aumentando los niveles de nutrientes, metales y sustancias tóxicas de los sedimentos (Kiely, 2001).

### 2.2.3 Indicadores Bioquímicos

**a) DBO<sub>5</sub>.** Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, parámetro de mayor significación cuando se trata de determinar la carga polucionante que pueden generar los desechos domésticos e industriales de naturaleza orgánica, al ser descargados en corrientes de agua en las que persistan condiciones



aeróbicas. Normalmente se determina la demanda a los cinco días, y mediante ecuaciones de cinética bacteriana se extrapolan los resultados a los 20 días, para obtenerlos más rápidamente.

#### 2.2.4 Indicadores Químicos Básicos

- a) Acidez – Alcalinidad.** No se consideran contaminantes directos o específicos; constituyen el sistema en equilibrio: carbonato – bicarbonato, uno de los más importantes en una masa de agua:



Por las variaciones que producen en el pH, se generan reacciones secundarias rompiendo el ciclo ecológico en un cuerpo de agua. Los bicarbonatos representan el sistema buffer del agua.

- b) Calcio.** Es la causa más frecuente de la dureza y afecta vitalmente las propiedades incrustantes y corrosivas del agua.
- c) Cloruros.** Son una medida indirecta de contaminación de origen orgánico humano, (aporte de las heces fecales y orina: 6 gramos de cloruros/día hab), así como de la presencia de sales ionizables.
- d) DQO.** Demanda química de oxígeno, es una prueba usada para medir la carga polucionial de los desechos domésticos e industriales, y cuantifica la cantidad de oxígeno requerido para oxidar completamente la materia orgánica de un desecho a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>.
- e) Detergentes.** Reducen la tensión superficial del agua, interfiriendo en el intercambio del oxígeno gaseoso; generan consumo de oxígeno disuelto por su naturaleza orgánica, e incrementan la concentración de fósforo total.



- f) **Dureza.** Las aguas duras impiden el efecto adecuado del jabón para el uso doméstico; valores altos ocasionan corrosión e incrustaciones en las tuberías y equipos metálicos industriales o redes de distribución de agua potable; en aguas de teñido originan manchas en las telas.
- g) **Fósforo total.** Puede ser utilizado como indicador de la cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que éstos poseen de 12 a 13% de fósforo en sus formulaciones; también provienen de fertilizante usados en la agricultura. En aspectos de eutrofización de los cuerpos de agua, el nivel crítico es aproximadamente 0,01 mg/L.
- h) **Grasas y aceites.** En aguas superficiales ocasionan películas que interfieren en la transferencia de oxígeno atmosférico. En cantidades excesivas disminuyen la eficiencia de los tratamientos biológicos; originan taponamientos de las redes de alcantarillado por su adherencia a las paredes del tubo. Su presencia disminuye notablemente la estética del cuerpo de agua. Generalmente están asociados a la presencia de hidrocarburos por su insolubilidad en el agua.
- i) **Nitratos.** Constituyen las formas más oxidadas de los compuestos de nitrógeno, y pueden causar metahemoglobinemia (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada. La enfermedad se produce por la reducción de nitratos a nitritos dentro del sistema digestivo de estos niños.
- j) **Nitritos.** En aguas superficiales crudas, las huellas de nitrito indican contaminación. Debido a que el nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya mezcla con aminas secundarias forma las nitroso-



aminas de reconocido efecto cancerígeno, se debe tener un cuidadoso control.

- k) Nitrógeno amoniacal.** La descarga de este compuesto a los cuerpos de agua, reduce los niveles de oxígeno disuelto, en especial cuando los tiempos de residencia son altos.
- l) Nitrógeno orgánico.** La presencia de nitrógeno amoniacal y orgánico en aguas indica una contaminación reciente, por lo que ofrecen un mayor peligro a la salud pública.
- m) Oxígeno disuelto.** Condición importante para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos.
- Su concentración depende de los procesos de producción primaria, y descomposición de la materia orgánica. En los ríos, las mayores fluctuaciones de oxígeno se producen en tramos sometidos a una mayor contaminación, y con una densidad importante de vegetación acuática (Margalef, 1983).

## 2.2.5 Indicadores Bacteriológicos

- a) Coliformes totales.** Su presencia indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, de humanos o animales.
- b) Coliformes fecales.** Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que los coliformes fecales (*Escherichia coli*), siempre están presentes en las heces humanas y de los animales.



## 2.2.6 Indicadores Biológicos

Las características de la biota existente, son consideradas como buenos indicadores del estado de calidad del agua de un recurso hídrico.

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación del agua es definido por los biólogos, como una especie, población o una comunidad indicadora, que tiene requerimientos específicos con relación a un conjunto de variables físicas o químicas conocidas, cuyos cambios en la presencia o ausencia, número de individuos, morfología, fisiología o comportamiento de estas especies, indican que las variables físico-químicas dadas están fuera de sus límites preferidos.

La selección del grupo indicador es muy importante en un estudio de calidad, ya que condiciona muchos aspectos, desde la metodología hasta la relevancia de los resultados.

a) **Macroinvertebrados bentónicos.** Constituido fundamentalmente por formas bentónicas que se pueden observar a simple vista. Dentro de esta categoría se incluyen varios grupos, los más importantes son los artrópodos, y en particular las larvas de insectos.

Debido a su forma de vida predominantemente sedentaria o sésil y su estrecha relación y dependencia con las condiciones prevalecientes en su hábitat, los macroinvertebrados han sido los organismos acuáticos que más frecuentemente se han empleado en la evaluación del grado de deterioro de las aguas naturales. Se caracterizan por tener un ciclo de vida muy prolongado en comparación con otros organismos que viven en el agua; están ampliamente distribuidos, son abundantes y se cultivan fácilmente en condiciones de laboratorio.



Un medio acuático presenta una buena calidad, cuando sus características permiten que en su lecho se establezcan las comunidades de macroinvertebrados que le son propias (Alba-Tercedor, Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos, 1996).

Los métodos de evaluación de la calidad de las aguas basados en estos organismos, ofrecen múltiples ventajas, como: simplicidad, rápida obtención de los resultados y alta confiabilidad; por tanto constituyen herramientas idóneas para un monitoreo continuo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas y ríos en general (Alba-Tercedor, Pardo, Prat, & Pujante, 2005).

Los pesticidas y otros productos agroquímicos utilizados en los cultivos convencionales, pueden cambiar las condiciones físico-químicas naturales del agua, y alterar las poblaciones de macroinvertebrados. Las temperaturas más altas aumentan la solubilidad de pesticidas en el agua e incrementan la capacidad de la fauna para absorberlos. La abundancia de consumidores primarios por lo general aumenta con fertilizantes a base de nitrógeno, debido al aumento de biomasa de acuáticos fotosintéticos, y que a veces producen eutrofización. En un cultivo sano, se espera una alta biodiversidad con varios grupos tróficos diferentes representados, mientras que en un cultivo alterado con pesticidas, se espera un nivel medio de la biodiversidad y la dominación de un grupo trófico (Rizo F. , Kumar, McCoy, Springer, & Trama, 2013).

## **2.3 INDICES DE CALIDAD DEL AGUA EN BASE A LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS**

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



El índice ideal para un río, debería abordar el tema de calidad con el concepto de ecosistema, es decir incluyendo los tres componentes mencionados; esta integración no es fácil y en los manuales más modernos de calidad del agua, no hay una alternativa definitiva (Behar, Zuñiga, & Rojas, 1997).

Al realizar un estudio de calidad del agua, se tienen dos opciones, a) utilizar un índice elaborado por algún autor o agencia ambiental, y b) desarrollar un propio índice; la elección dependerá del objetivo del estudio y de la disponibilidad de recursos.

### **2.3.1 Indices de Calidad Físico-químicos (ICA)**

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.

Los parámetros a ser incluidos en los ICA han sido definidos desde sus inicios, por la apreciación de expertos, agencias o entidades gubernamentales, que son los que determinan en el ámbito legislativo su importancia, al establecerlos como estándares de la calidad del agua. La mayoría de autores recomiendan seleccionar los parámetros de las cinco categorías consideradas como las más importantes: 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 (Sierra, Calidad del Agua, 2011).

Considerando los principales usos del suelo en cada caso en particular, se debe incluir además, parámetros asociados a sustancias tóxicas, como los plaguicidas de



uso agrícola por ejemplo, los cuales podrían llegar a ser prioritarios en la evaluación de la calidad del agua, destinada a consumo humano.

Los índices se utilizan para 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, constituyendo una herramienta institucional para evaluaciones de calidad del agua.

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.

Fuentes primarias de referencia para el presente estudio, constituyen:

El realizado en Nicaragua en el río Ochromogo, con un enfoque similar al presente; estudia el efecto de residuos de plaguicidas en las comunidades de macroinvertebrados, y considera algunas variables físico-químicas, que pudieran incidir en dichos efectos (Salvatierra Suárez, Presencia de residuos de plaguicidas organoclorados y carbamatos en el río Ochromogo y efectos sobre la comunidad macrozoobética, 1997).

Un estudio realizado en el canal de acceso al puerto marítimo de Guayaquil, en el que se hace una comparación de los índices de calidad, ICA (Comisión Nacional del Agua de México), y NSF (Fundación de Sanidad de los Estados Unidos). El estudio demuestra que los dos índices constituyen “indicadores de contaminación” (Aguayo, 2008).

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).



Muchos países como Colombia, Argentina, Chile, México, fundamentan sus estudios de calidad de agua a través de índices, desarrollados en base a sus propias normativas y que representan las condiciones naturales del medio, o adoptados de otros países por constituir una referencia internacional.

Literatura especializada que informa sobre los índices de calidad más usados a nivel mundial, las bases para su conceptualización y su evolución en el tiempo, constituyen, las disponibles en el *Journal of the American Water resources association. Volumen 37 N°1*, y el documento *Idaho River Ecological Assessment Frame Work: An Integrated Approach* del Departamento del Medio Ambiente de la Universidad de Oregon, 2002.

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 2.1**:

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

**Ecuación 2.1**

En donde: **ICA** = índice de calidad del agua global

**I<sub>i</sub>** = índice de calidad para el parámetro i

**W<sub>i</sub>** = 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.

### 2.3.2 Índices de Calidad Biológicos

Mediante los índices biológicos se obtiene un valor numérico que expresa el efecto de la contaminación sobre una comunidad biológica, y se basan en la capacidad de los organismos para reflejar las características o condiciones ambientales del medio en el que se encuentran. La presencia o ausencia de una especie o familia, así como su densidad o abundancia es lo que se va a usar como indicador de la calidad. La mayor diferencia con los índices fisicoquímicos es que permiten indicar el estado del agua en un periodo prolongado de tiempo, definido por la duración del ciclo vital de cada individuo, magnitud de colonias, etc.; pero por el contrario, es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, por lo que su utilización es complementaria y no sustitutiva a los índices fisicoquímicos.

Para evaluar la integridad de los ecosistemas acuáticos, se selecciona el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), el cual analiza la composición de los macrozoos-bentónicos acuáticos a nivel de familia, asignándole un puntaje de acuerdo a su capacidad de supervivencia a distintos niveles de contaminación, 10 a los más sensibles y 1 a los tolerantes o resistentes (Zamora, 2003). El método establece seis niveles de calidad biológica.

Es importante además, evaluar la calidad de las riberas, aspecto vinculado a la calidad del agua; comúnmente se emplea el índice QBR (Riparian Forest Quality), método útil que analiza a través de una “inspección de campo”, cuatro componentes del hábitat ribereño: grado de cobertura de la vegetación, estructura de la cobertura, calidad de la cobertura, y la naturalidad del canal fluvial, (Gualdoni, Duarte, &



Medeot, 2001); el índice toma valores de 0 a 100, y asigna 25 puntos a cada uno de los aspectos indicados.

Se distinguen cinco categorías de calidad de agua, según el índice QBR.

## 2.4 ASPECTOS TOXICOLOGICOS DEL AGUA

Durante su ciclo natural, el agua tiene contacto con numerosas sustancias químicas, las cuales se consideran “tóxicas” cuando a una determinada concentración y tiempo de exposición, producen efectos adversos a la especie humana, a la biota acuática ó ecosistema (Capo, 2007). La preocupación fundamental es debido a los efectos desconocidos que la ingestión de estas sustancias producen en el cuerpo humano; se tiene certeza sobre su potencial físico y fisiológico para producir cáncer, tumores, y defectos genéticos (Sierra, Calidad del Agua, 2011).

Este hecho contrasta con los contaminantes convencionales (medidos en el ICA), que básicamente afecta al ecosistema acuático, pero no entrañan la peligrosidad de los tóxicos en la salud pública.

Las sustancias tóxicas en el agua, interfieren en los usos benéficos que se espera de ella, por ejemplo:

- La acumulación de metales y químicos orgánicos en los peces, impide la pesca como fuente de alimento.
- La formación de trihalometanos en el tratamiento del agua, impide su uso para consumo humano.
- La presencia de agroquímicos en las aguas de escorrentía y los lixiviados producidos en los rellenos sanitarios no controlados, pueden contaminar las aguas subterráneas y superficiales.



El aspecto de interés de las sustancias tóxicas en las aguas naturales, es la evaluación del impacto potencial de ellas sobre la población humana expuesta, y sobre el ecosistema acuático.

Son muchos los tóxicos que pueden estar en el agua; la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), ha establecido una lista de sustancias prioritarias o de interés sanitario, que deben ser vigiladas; los principales grupos constituyen: metales pesados como, plomo, mercurio, cadmio, selenio; los pesticidas, los bifenoles policlorados (PCB), los fenoles, sustancias radioactivas, y muchas sustancias químicas empleadas en procesos industriales como los bencenos clorados, parafinas cloradas, etc. (Moreno, 2003).

#### **2.4.1 Los pesticidas en el agua, su origen, efectos en la salud humana y en los ecosistemas**

Los pesticidas son productos químicos de síntesis, y son usados para combatir cierto tipo de plagas en los cultivos, parques y jardines; por lo que llegan a los cuerpos receptores como resultado de la escorrentía urbana, constituyendo una fuente de contaminación difusa en el agua, y limitando sus usos (Tucci, Porto, & Barros, 1995). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007), un pesticida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias usada como desfoliante, desecante o reguladora del crecimiento vegetal.

Las categorías más importantes de pesticidas son: insecticidas, fungicidas, alguicidas, herbicidas y rodenticidas.

El uso de pesticidas es causa de intoxicación que afecta en primer lugar a las personas que están directamente en contacto con estos productos en el medio laboral, pero también a la población de las zonas donde se aplican estos



compuestos, y en general a los consumidores de los productos agrícolas que pueden contener residuos de los pesticidas aplicados (Moreno, 2003), (Beltrán, Morele, & Hernandez, 2001).

La aplicación incorrecta del pesticida puede causar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, con posible afección de especies acuáticas y de agua de abastecimiento. El transporte por el viento puede causar su desplazamiento a grandes distancias de la zona de aplicación.

Por los efectos adversos imprevistos, la EPA en los Estados Unidos, antes de registrar un nuevo pesticida, se asegura de que el producto, de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta, se pueda utilizar con una certeza razonable de daño a la salud humana, y sin que ello entrañe un riesgo excesivo para el medio ambiente. Para hacer estas determinaciones, la EPA requiere más de 100 estudios científicos diferentes y pruebas presentadas por los solicitantes. Cuando los pesticidas pueden ser utilizados en alimentos o piensos de cultivos, este organismo también establece tolerancias, expresados como: "límites máximos de residuos de plaguicidas", para la cantidad de sustancia que puede permanecer legalmente en los alimentos (Agencia Americana de Protección del Medioambiente (EPA) , 2014).

La OMS, ha publicado criterios para la clasificación de los pesticidas según su peligrosidad para el hombre (Moreno, 2003); se establecen cuatro categorías, en función de su toxicidad aguda oral y cutánea y de su estado físico. Estas categorías son: IA (extremadamente peligrosos), IB (altamente peligrosos), II (moderadamente peligrosos), y III (ligeramente peligrosos). La Tabla 2.1 presenta ejemplos de pesticidas pertenecientes a los cuatro grupos de peligrosidad establecidos por este organismo internacional.



CLASE IA EXTREMADAMENTE PELIGROSOS	CLASE IB ALTAMENTE PELIGROSOS	CLASE II MODERADAMENTE PELIGROSOS	CLASE III LIGERAMENTE PELIGROSOS
Hexaclorobenceno	Aldrín	Endosulfán	Malatión
Paratón	Dieldrín	Lindano	Metazol

Tabla 2.1: Clasificación de la OMS (1996) para los pesticidas y ejemplos de cada clase.  
(Tomado de Moreno 2003)

#### 2.4.2 Toxicología de los Insecticidas

Todos los insecticidas usados en la actualidad presentan efectos tóxicos sobre el sistema nervioso, por uno o varios de los mecanismos siguientes: interferencia con el transporte a través de las membranas celulares de los iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , o  $\text{Ca}^{++}$ , inhibición de enzimas y liberación de neurotransmisores, o modificación de su persistencia en las sinapsis.

Los principales efectos en la salud por exposición a plaguicidas, tanto de tipo agudo como crónico, se resumen en daños en el sistema nervioso central, daños en la piel, ojos, pulmones, teratogénesis, mutaciones, cáncer, esterilidad masculina, afección al sistema inmunológico, entre otros (Moreno, 2003). Son contaminantes conservativos, acumulativos y no biodegradables, persistentes en los suelos y los sedimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2006).

##### a) Insecticidas organoclorados. Fueron los primeros usados a gran escala.

Sus principales propiedades: reducida volatilidad, alta estabilidad química y solubilidad en lípidos, lenta biotransformación y degradación en el medio ambiente.

Estas propiedades que les hacían enormemente atractivos, son también las que han provocado su prohibición en numerosos países, pues constituyen el



fundamento que plantean al medio ambiente: persistencia, bioconcentración y biomagnificación en la cadena trófica.

Pueden agruparse por su estructura química en cuatro clases: derivados del diclorodifeniletano, ciclodienos, clorobencenos, y clorociclohexanos. El DDT, (y sus metabolitos importantes), es el más representativo de los diclorofeniletano. El mecanismo de toxicidad de todo este grupo difiere del que presentan las otras clases de insecticidas organoclorados.

La tendencia a la biomagnificación y persistencia ambiental hace que estén sujetos a amplios ciclos de transporte en toda la biosfera; así se han encontrado niveles relativamente altos de insecticidas organoclorados en el tejido adiposo de animales como las focas, las ballenas y los peces, capturados en el círculo polar ártico (Moreno, 2003). Hay un sin número de manifestaciones que demuestran su amplia distribución en la naturaleza.

**b) Insecticidas inhibidores de la colinesterasa.** La inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, es el mecanismo de acción común a todos los insecticidas de este grupo. Esta enzima es encargada de la degradación metabólica del neurotransmisor acetilcolina.

Dos grupos son los más importantes: los *insecticidas organofosforados*, que son ésteres del ácido fosfórico, y los *carbamatos* que son ésteres del ácido carbámico.

- **Insecticidas organofosforados.** El comportamiento medio ambiental de estos compuestos, varía en función de la estructura molecular de cada compuesto concreto. En general son compuestos poco volátiles, muchos de ellos experimentan fotólisis directa e indirecta en la atmósfera, son hidrolizables y biodegradables.



La biodegradación de estos compuestos en el medio ambiente es a través de reacciones de oxidación y reducción; en suelos la biodegradación es más activa a medida que aumenta la materia orgánica; en suelos pobres en materia orgánica la degradación tiene lugar fundamentalmente por hidrólisis.

Algunos estudios demuestran que los insecticidas órgano fosforados pueden adsorberse, en el espacio entre capas de algunos minerales del suelo, como la montmorillonita (mineral de arcilla); la intercalación causa diferentes grados de expansión, modificando la estructura del suelo (Sánchez & Sánchez, 1983).

- **Insecticidas carbamatos.** El mecanismo de acción es igual al de los órganofosforados, la diferencia radica en la duración de la inhibición de la acetilcolinesterasa. Son no persistentes, fácilmente degradables por acción de microorganismos y por vía no biológica, especialmente por hidrólisis; son poco volátiles, no tienden a adsorberse a suelos y sedimentos, tampoco se bioconcentran en organismos acuáticos.

- c) **Insecticidas piretroides.** Son ésteres que pueden agruparse en dos categorías, los de anillo, cuya molécula contiene un ciclopropano, y los de cadena abierta.

El mecanismo de toxicidad consiste en la modificación de la cinética de apertura y cierre de los canales de sodio responsables de producir el potencial de acción en las neuronas. La exposición a los piretroides provoca de este modo un estado de hiperexcitabilidad.

El comportamiento medioambiental varía dependiendo de la estructura molecular específica; pero su mayor característica es su fácil biodegradación,



con tiempos de vida media del orden de días en aguas y en suelos, tanto en medios aerobios como anaerobios.

Son compuestos poco volátiles, se introducen a la atmósfera por fumigación en forma de vapor y particulada. Se adsorben fuertemente a la fracción sólida de los suelos y sedimentos, por lo que son muy inmóviles en el subsuelo y en las masas de agua, en las que predominan adsorbidos a sólidos en suspensión y sedimentos.

Tienden a bioconcentrarse en organismos acuáticos y presentan una elevada toxicidad en peces.

Datos importantes que influyen en el destino de los plaguicidas y el peligro que representan para la contaminación del agua, son: coeficiente de partición en materia orgánica ( $K_{ow}$ ), constantes de adsorción en el suelo ( $K_{oc}$ ), tiempos de vida media ( $t_{1/2}$ ), y categoría toxicológica (Universidad of Hertfordshire, 2009).

#### **2.4.3 Evaluación del riesgo toxicológico**

En vista de la complejidad de los contaminantes vertidos a los cuerpos de agua, la evaluación de la calidad de un río debe incluir la búsqueda de “sustancias peligrosas”, que consumidas en dosis muy pequeñas pero por períodos prolongados, constituyen un riesgo para la población expuesta; el ICA no puede evaluar todos los riesgos presentes en la fuente.

Los niveles de tóxicos detectados en el agua, deben compararse con los establecidos en normativas nacionales e internacionales, y junto al ICA (forma resumida de interpretar la calidad física-química y microbiológica del agua), interpretar la calidad integral del cuerpo receptor, para luego definir sus usos (Torres, Cruz, & Patiño, Indices de calidad del agua en fuentes superficiales



utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica, 2009).

El riesgo, es la posibilidad de sufrir daño, enfermedad o muerte debido a un peligro o bajo circunstancias específicas. Puede expresarse en términos cuantitativos de probabilidad. En muchos casos el riesgo sólo puede describirse cualitativamente como alto, bajo e insignificante (Chang, 2012).

La evaluación del riesgo es la actividad científica para valorar:

- Las propiedades tóxicas de una sustancia
- Las condiciones de exposición humana a dicha sustancia

Por sus propiedades, algunos plaguicidas tienen un alto potencial para producir cáncer, aumentando el riesgo toxicológico de la matriz ambiental donde se encuentran.

La IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) y organismo dependiente de la OMS, establece una clasificación para las sustancias basadas en este potencial. (ver Tabla 2.2)

GRUPO	EVIDENCIA
1. Agente cancerígeno	Suficiente (personas)
2A. Probablemente cancerígeno	Limitada personas Suficiente animales
2B. Posiblemente cancerígeno	Limitada o inadecuada (personas) Suficiente animales
3. No clasificable en cuanto a sus efectos cancerígenos	Inadecuada (personas) Inadecuada o limitada (animales)
4. Probablemente no cancerígeno	Evidencias indicativas de ausencia de actividad cancerígena en personas y animales

**Tabla 2.2: Criterios de la IARC para la clasificación de los compuestos.**  
(Tomado de: Moreno, 2003)



Es importante puntualizar lo que sigue:

Varios son los tóxicos que pueden estar presentes en un río; cuando el recurso es empleado con fines de abastecimiento, “el riesgo es mayor”; porque si no se implementan adecuados mecanismos de potabilización, o simplemente éstos no existen; entonces el tóxico ingresa al organismo humano directamente a través del agua de consumo.

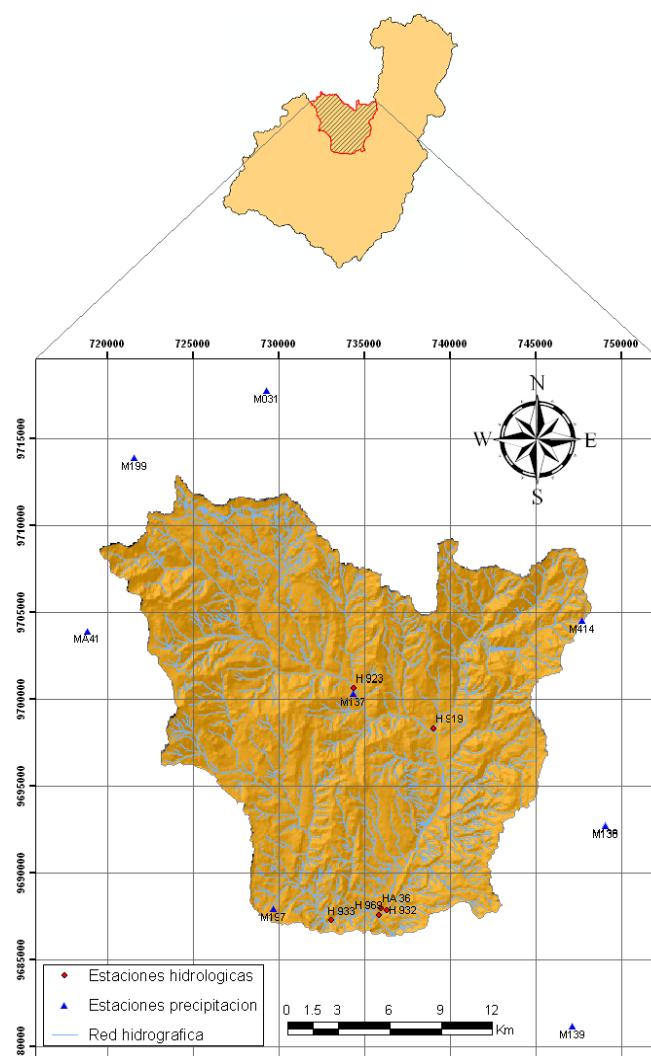
El riesgo está asociado no sólo a la calidad, sino también a la cantidad de agua; actualmente 31 países, habitados con menos del 8% de la población mundial, se ven frente a un déficit crónico de agua dulce. Para el año 2025 se prevé que 48 países enfrentarán este déficit, afectando a más de 2800 millones de habitantes que representa el 35% de la población proyectada; los países más afectados posiblemente serán Etiopía, India, Kenya, Nigeria y Perú (Chang, 2012).

Finalmente: “Donde quiera que habiten y trabajen los seres humanos, siempre se producirá un incremento de sustancias tóxicas, sales no tóxicas y sobre todo patógenos, que entrarán al ciclo del agua” (Ordóñez, 2001).

## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### **3.1 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio corresponde a la subcuenca del río Burgay, la cual representa el 8,72% del área total de la cuenca del río Paute, y se encuentra ubicada en la cuenca media de la misma. El área de drenaje de esta subcuenca, es de 447,04 km<sup>2</sup>, con una elevación media de 2997 m. s.n.m. y una pendiente media de 15,4%. (ver Figura 3.1)



**Figura 3.1: Ubicación de la subcuenca del Burgay en la cuenca del río Paute.**  
**Fuente: CG PAUTE 2008**



### 3.1.1 Características geomorfológicas

Los datos de la Tabla 3.1 reportan una zona topográficamente escarpada, con gran poder erosivo.

DESCRIPCION	AREA Ha
Colinas medianas	7879,711
Cuerpos de agua	8,190
Laderas coluviales	179,812
Nieve	180,126
Relieve escarpado	6707,835
Relieve montañoso	6770,462
Superficies de aplanamiento	220,072
Talud de derrubios	223,949
Terraza baja	1646,430
Valles Interandinos	773,385
Vertientes cóncavas	9219,657
Vertientes convexas	4527,882
Vertientes irregulares	5997,453
Zonas Urbanas	368,424

Tabla 3.1: Descripción de formaciones Geomorfológicas de la subcuenca del río Burgay.  
Fuente: ODEPLAN 2002

### 3.1.2 Descripción geológica

Para realizar el resumen de la geología, se utilizó la escala 1:100.000; para la actividad tectónica: 1:250.000; y para la información cartográfica base, una escala de 1:25.000. Según estos datos se determinó que en la zona de interés existen varias formaciones geológicas y depósitos superficiales, las cuales son mostradas en la Tabla 3.2 con su correspondiente descripción litológica, áreas, y sus porcentajes con respecto al área total de la zona. La Figura 3.2 muestra las formaciones geológicas predominantes en las estaciones de monitoreo.

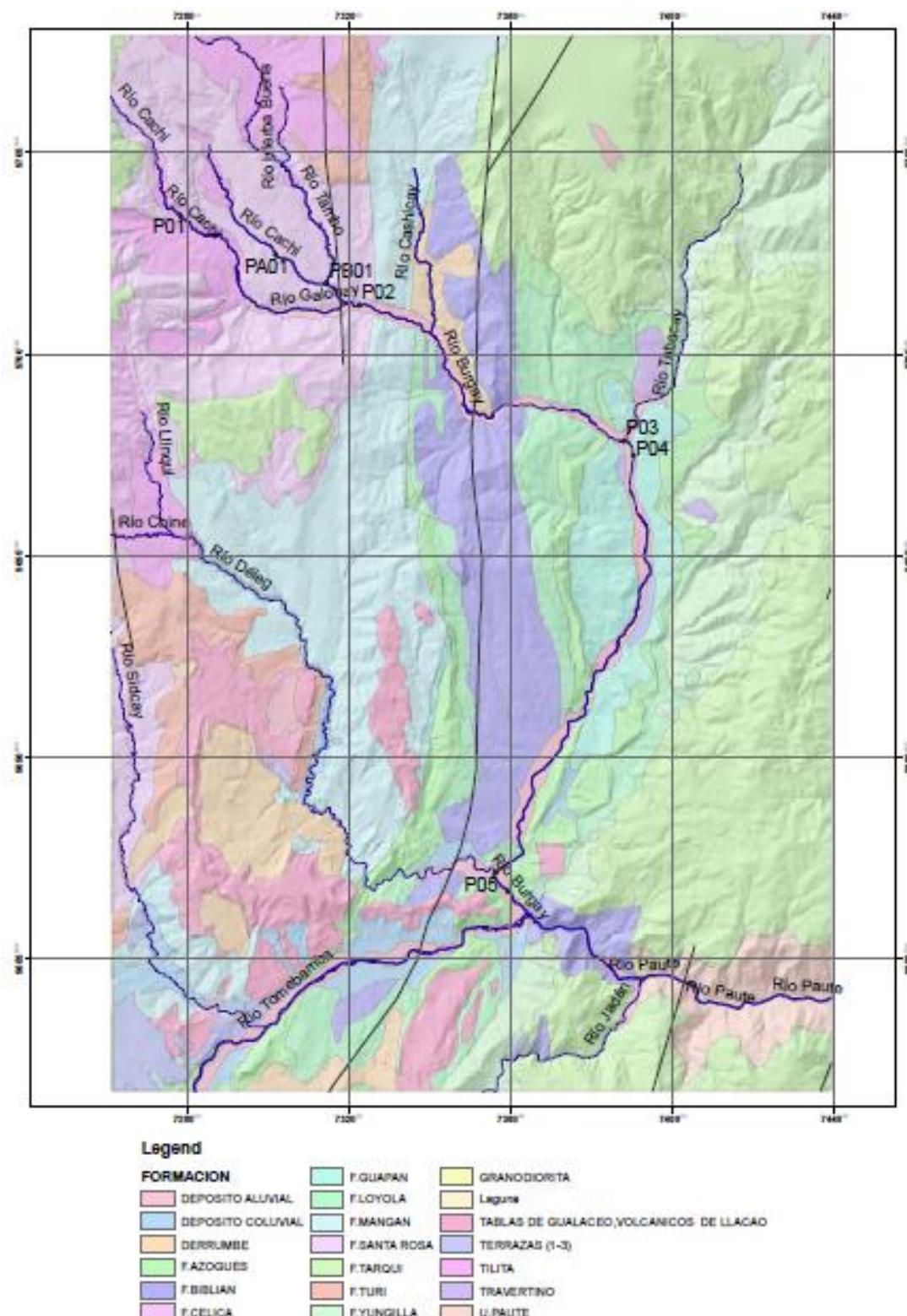


Figura 3.2: Sistema de coordenadas WGS84, 17S



FORMACION	LITOLOGIA	EDAD	AREA_Km <sup>2</sup>	%
F.CELICA	ANDESITA	Cretaceo	3.76	0.81
F.YUNGILLA	ARGILITA,ARENISCA TOBACEO,TOBA	Cretaceo-Paleoceno	31.49	6.78
F.TARQUI	AGLOMERADO,LAVA,DACITA	Cuaternaria	116.86	25.1 8
DEPOSITO ALUVIAL	DEPOSITO ALUVIAL	Cuaternaria	12.48	2.69
TERRAZAS (1-3)	TERRAZAS (1-3)	Cuaternaria	5.24	1.13
TABLAS DE GUALACEO,VOLCANICOS DE LLACAO	TOBAS DE GUALACEO,VOLCANICOS DE LLACAO	Cuaternaria	25.07	5.40
TRAVERTINO	TRAVERTINO	Cuaternaria	1.57	0.34
DERRUMBE	DERRUMBE	Cuaternaria	16.84	3.63
DEPOSITO COLUVIAL	DEPOSITO COLUVIAL	Cuaternaria	9.60	2.07
TILITA	TILITA	Cuaternaria	19.66	4.23
U.PAUTE	META - VOLCANICOS DE SAN FRANCISCO	Jurasico	10.21	2.20
F.BIBLIAN	PIROPLASTICOS Y LAVAS ANDESITAS	Mioceno	34.15	7.36
F.AZOGUES	BENTOMITA LOCALMENTE CONGLOMERADO DE BASE	Mio-Plioceno	24.09	5.19
F.TURI	CONGLOMERADO DE BASE	Plioceno	12.70	2.74
F.MANGAN	CONGLOMERADO	Terciario	55.80	12.0 2
F.SANTA ROSA	ARENISCA,CONGLOMERADO,LUTITAS	Terciario	44.40	9.57
F.GUAPAN	BENTOMITA LOCALMENTE CONGLOMERADO DE BASE	Terciario	13.78	2.97
F.LOYOLA	LOCALMENTE CONGLOMERADO DE BASE	Terciario	26.24	5.65
GRANODIORITA	GRANODIORITA	--	0.21	0.05
Laguna	--	--	0.02	0.00

Tabla 3.2: Formaciones Geológicas presentes en la zona

Los puntos P1 (Río Cachi), PA (Río Cachihuayco), PB (Río tambo), y P2 (Río Burgay), se encuentran en sitios que tienen como basamento la formación Santa Rosa de edad terciario, la cual por su origen sedimentario presenta conglomerados, areniscas y lutitas. Sin embargo, aguas arriba del río Cachi y Galohay, existe la presencia de la formación Tarqui de edad cuaternaria, esta formación es de origen volcánico presentando secuencias de Tobas, Aglomerados, Riolitas y Andesitas.



Los puntos P3 (Río Burgay AJ. Tabacay) y P4 (Río Burgay DJ. Tabacay) se encuentran en la unión de los ríos Burgay y Tabacay, asentados sobre depósitos aluviales, los cuales están sobreyacente a la formación Guapán con su litología de bentonita, donde localmente se encuentran conglomerados en la base. Aguas arriba del río Burgay corresponde a la misma litología descrita en los puntos anteriores, pero aguas arriba del río Tabacay se encuentra la Formación Tarqui (descrita anteriormente) y la formación Yunguilla de origen sedimento-volcánicos con la litología de tobas y areniscas tobáceas.

Los puntos P5 (Río Burgay AJ. Déleg) y P6 (Río Burgay DJ. Déleg), se encuentran basados en los depósitos aluviales, debajo de los cuales se encuentra la formación de origen sedimentaria Azogues; estos puntos tienen influencia desde aguas arriba de las formaciones geológicas Tarqui, Yunguilla, Biblián y Mangán.

Desde el punto de vista tectónico en la zona pasa una falla; según la información 1:250.000 existe una falla geológica grande que atraviesa de Norte a Sur, cual a su vez genera fallas pequeñas con la misma tendencia.

Litológicamente, las estaciones de monitoreo pueden categorizarse en 3 grupos:

- a) **Estaciones: P1 (Río Cachi), PA (Río Cachihuayco), PB (Río Tambo), y P2 (Río Burgay).**
- **Formación Santa Rosa.** De origen sedimentario; predominan lutitas rojas arenosas y limosas (Blyth & Freitas, Geología para Ingenieros. México Novena Reimpresión, 2003).

Lutita: compuestos de aluminio, potasio y sílice.



Químicamente, esta litología se relaciona con compuestos de:  $\text{SiO}_2$ , K, Al,  $\text{CaCO}_3$ . y areniscas de poder cementante debido a la formación de  $\text{CaSiO}_3$ .

- **Formación Tarqui.** De origen volcánico; en su secuencia dominan los piroclastos, los cuales consisten en toba y aglomerados riolíticos o andesíticos (Blyth & Freitas, Geología para Ingenieros. México Novena Reimpresión, 2003).

Roca toba: formada por fragmentos eliminados durante una expulsión, “rotos por el fuego”; se enfrián y forman el “aglomerado volcánico”, y cuando endurecen forman la roca toba.

Riolitas: roca ácida, expulsa lavas ácidas; es una roca vítreo o criptocristalina, contiene cuarzo y feldespato.

Feldespato: grupo de minerales más difundidos en la naturaleza; constituye cerca del 50% en peso de la corteza terrestre y es el componente principal de la mayoría de las rocas. Los feldespatos son aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio. Esta formación químicamente contiene los mismos compuestos de la formación Santa Rosa, pero con predominio de cristales silícicos de carácter ácido procedente de las riolitas, por lo que el pH del agua en esta zona será menor (Fersman, Geoquímica Recreativa, 2010).

**b) Estaciones: P3 (Río Burgay AJ Tabacay), y P4 (Río Burgay DJ Tabacay).**

- **Formación Guapán.** Depósito aluvial, con predominio de bentonitas.

Bentonita: tipo de arcilla, contiene un mineral con gran capacidad de absorción de agua dentro de la red cristalina: la montmorillonita, tipo de arcilla expansiva.



- **Formación Yunguilla.** Se caracteriza por la presencia de las lutitas y argilitas (Bristow, Guide to the Geology of Cuenca Basin, southern Ecuador, 1973).

Predomina el “granate”, mineral de gran capacidad abrasiva, de alto peso específico, de fórmula:  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Mn})_3 (\text{Al}, \text{Fe}^{+3}, \text{Cr}) (\text{SiO}_3)_3$ ; mineral accesorio, ocurre como pequeños cristales y en cantidades limitadas. El profesor Erazo (1957) dio el nombre de San Marcos a estas rocas por sus importantes afloramientos en esa localidad e indica una edad cretácica. En 1969 los geólogos de UNDP (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) la designan como formación Yunguilla.

Argilita: mineral de lutitas, limolitas y bentonitas.

Presencia de falla tectónica.

c) **Estaciones: P5 (Río Burgay AJ Déleg), y P6 (Río Burgay DJ Déleg).**

- **Formación Azogues.** Nombrada por primera vez por Wolf en 1982 bajo el nombre “Areniscas de Azogues” para toda la cuenca sedimentaria de Cuenca (Blyth & Freitas, Geología para Ingenieros. México Novena Reimpresión, 2003).

Areniscas tobáceas de grano medio a grueso café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas.

Limolitas: formadas por cristales microscópicos, se acumulan en forma de láminas con depósitos de arcilla, con débil capacidad cementante, a diferencia de los depósitos de arcilla; por eso el agua fluye con más facilidad en limo que en arcilla.



Limo: sedimento que se forma en el fondo de los depósitos acuáticos constituido fundamentalmente por diminutas partículas de arcilla de dimensiones inferiores a 0,01 mm. De ordinario se llama limo o fango al terreno blando, inconsistente, con elevado porcentaje de agua.

- **Formación Biblián.** Alternancia de argilitas, limolitas rojizas interestratificadas con areniscas tobáceas de grano fino a grueso y conglomerados con cantos mal sorteados y subangulares de la Formación Yunguilla, se observa yeso secundario en grietas.

Yeso: composición química:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Mineral y también roca sedimentaria, de color blanco o ligeramente coloreada, muy difundido en la naturaleza. Se emplea mucho en la construcción, decoración y estucado, así como para la preparación de cemento (Fersman, Geoquímica Recreativa, 2010).

- **Formación Mangán.** En su parte inferior es una secuencia de limolitas, lutitas y areniscas finogranulares, todas de color claro (Bristow, Guide to the Geology of Cuenca Basin, southern Ecuador, 1973); en su parte media se encuentran lutitas asociadas con vetas de carbón; por lo que incrementaría el contenido orgánico del agua en contacto.

**Interpretación:** La calidad del agua tal como se encuentra en la naturaleza, depende fundamentalmente de las características de la cuenca hidrográfica, especialmente de sus suelos y geología; así, la litología de la subcuenca, muestra un escenario de la corriente; es decir, la composición química que se podría esperar de ella.



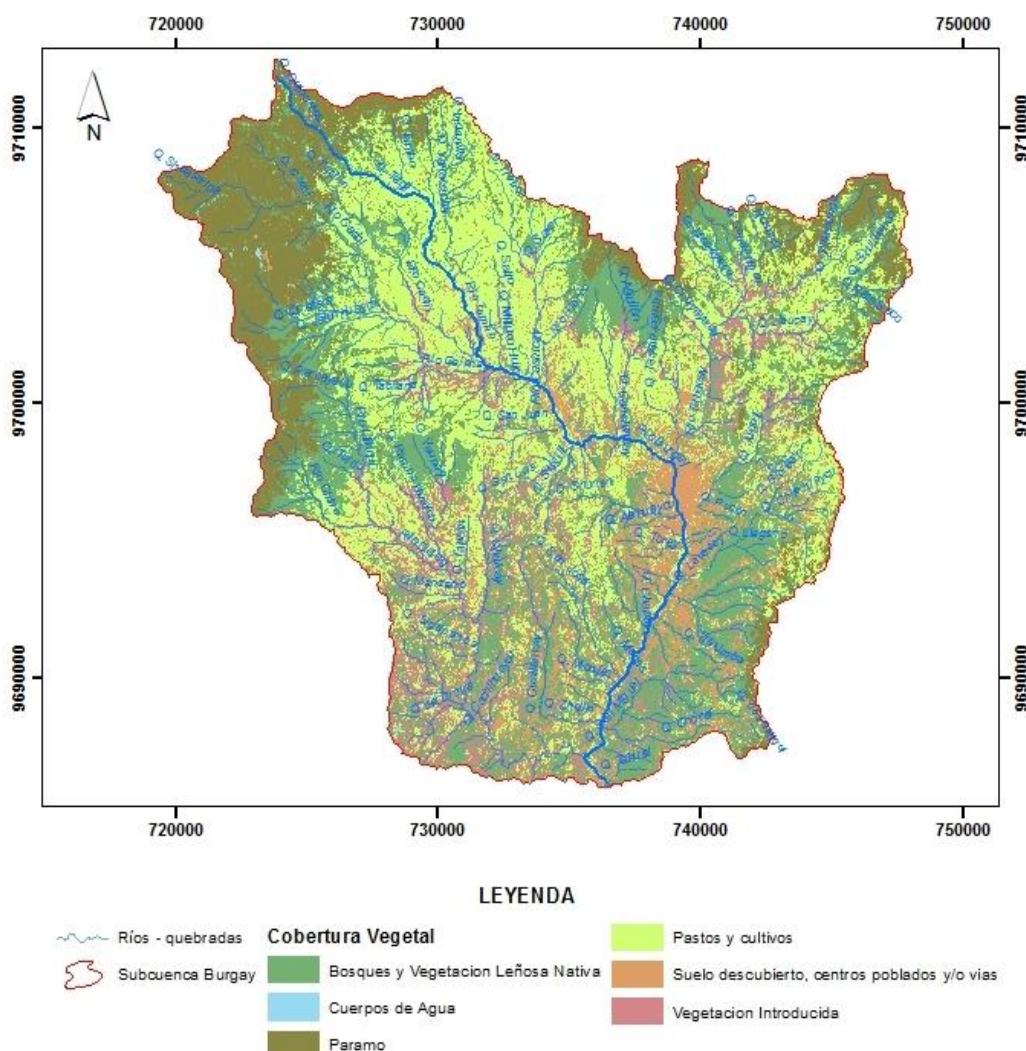
Si se hace una abstracción de la contaminación, y configurando químicamente el agua desde la estación Cachi, en términos generales, el río Burgay es una fuente superficial con baja conductividad, pequeña concentración de sólidos disueltos, débil capacidad de amortiguamiento, blanda, y ligeramente ácida.

Avanzando la corriente, habría un incremento en el contenido de sulfatos y materia orgánica por el tipo de formaciones por las que atraviesa.

### **3.1.3 Vegetación**

Pastos y cultivos es el uso predominante en la subcuenca, como se ven en la Figura 3.3 y Tabla 3.3, aunque con tendencia a la disminución de cultivos, debido a que la agricultura no es una actividad rentable; la zona cultivable es preponderante en la orilla del río, por lo que los plaguicidas y otros agroquímicos aplicados, acceden fácilmente a la corriente.

Si se calcula el índice ICA del agua, excluyendo la contaminación debida a los nutrientes, se puede cuantificar la contaminación difusa debida a la agricultura, de muy difícil control, y que le resta calidad al cuerpo receptor.



**Figura 3.3: Mapa de la Cobertura Vegetal de la Subcuenca del Río Burgay**

<b>COBERTURA VEGETAL BURGAY</b>	
<b>COBERTURA DEL SUELO</b>	<b>AREA HA</b>
Bosques y Vegetación Leñosa Nativa	12747,2815
Cuerpos de Agua	42,9336
Paramo	7047,9709
Pastos y cultivos	15600,2516
Suelo descubierto, centros poblados y/o vías	4698,0737
Vegetación Introducida	4568,9109

**Tabla 3.3: Superficies Cobertura Vegetal de la Subcuenca del Río Burgay.**  
**Fuente: Ex CG Paute 2007**



### 3.1.4 Temperatura

TEMPERATURA BURGAY	
Máxima	16,0102 °C
Mínima	6,6843 °C

**Tabla 3.4: Estación Meteorológica PROMAS Universidad de Cuenca  
Anuario Meteorológico INAMHI**

### 3.1.5 Precipitación

PRECIPITACION BURGAY	
Máxima	1419,07 mm
Mínima	792,374 mm

**Tabla 3.5: Estación Meteorológica PROMAS Universidad de Cuenca  
Anuario Meteorológico INAMHI**

Datos obtenidos del mapa de temperaturas para la cuenca del río Paute, y recortado para la zona específica de la subcuenca del río Burgay.

La precipitación media es de 800 mm; esta información es útil para predecir la sequía meteorológica, es decir la debida a la ausencia de lluvia, diferente de la sequía hidrológica, aquella en donde la demanda de agua es mayor que la oferta (caudal que ofrecen todos los ríos juntos).

## 3.2 TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO

La investigación es aplicada por su orientación; por la técnica de contrastación es experimental, permite manipular algunas variables como el período estacional y las estaciones de monitoreo, y se espera la respuesta de otras, como el ICA, el BMWV y la concentración de plaguicidas. Por la direccionalidad es retro y prospectiva; es longitudinal y cuantitativa; y se desarrolló a través de un diseño cuasi experimental.



### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. INDICADORES

OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
1. Obtener índice ICA, y definir usos del agua.	Valor del ICA (variable dependiente)	Adimensional Valores (rango)  85-100 NO CONTA. 70-84 ACEPTABLE 50-69 POCO CONTAMINADO 30-49 CONTAMINADO 0-29 ALTAM.CONTAMINADO	Valores	Software
2. Obtener índice BMWP, y definir usos del agua.	Valor del BMWP (variable dependiente)	Adimensional Valores (rango)  ≥ 121 MUY LIMPIAS 101-120 LIMPIAS 61-100 MEDIANAMENTE CONTAMINADO 36- 60 CONTAMINADO 16-35 MUY CONTAMINADAS ≤ 15 FUERTEMENTE CONTAMINADAS	Valores	Software
3. Determinación de Plaguicidas y comparación de resultados con normativas aplicables	Concentración de plaguicidas en el agua (variable independiente)	ppb	Valores de plaguicidas permitidos en normas, y valores, obtenidos en las muestras.	Normas INEN Normas EPA Normas TULAS Normas USEPA Normas OMS(OPS)
4. Establecer el riesgo toxicológico	Riesgo (variable dependiente)	Rango	Índices de toxicidad. DDPV RfDco NOAEL FS	Bases de Datos Toxicológicas
Redefinir usos del agua	Usos del agua (variable dependiente)	Rango	Instituciones evocadas.	Exposiciones orales Conferencias Escritos
5. Difusión de los resultados				



<b>6. Formulación de alternativas de control</b>	Modificaciones del uso del suelo		Cambio del uso	Ordenanzas
	Técnicas agrícolas	Técnica	Valores de nutrientes en el río	Tecnología aplicada
	Técnicas de fumigación	Técnica	Valores de plaguicidas en alimentos y en el río	Tecnología aplicada
	Alternativas para tratamiento de Aguas residuales.	Sistema de tratamiento	Remoción de contaminantes	Tecnología aplicada
	Disposiciones legales para el uso y comercialización de plaguicidas	Mecanismo		Legislación Permisos Licencias Selección de proveedores
	Educación ambiental  (Variables dependientes)	Educación	Consumos de agua para riego Consumos de energía Cantidad de plaguicidas consumidos al año	Talleres Seminarios

Tabla 3.6. Objetivos, variables, indicadores, e instrumentos, definidos para el estudio

### 3.4 POBLACION, MUESTRA Y CAMPAÑAS DE MUESTREO

La calidad de un río depende del período estacional y está vinculado con el caudal.

Se diseñó un plan de monitoreo para cubrir un año calendario, durante el cual se captaron muestras representativas de la fuente, para cada uno de los ensayos planificados.

Se establecieron seis estaciones de monitoreo, ubicadas estratégicamente a lo largo del río, considerando el aporte de los principales afluentes del Burgay: Río Cashicay, Río Tabacay y Río Déleg; adicionalmente y debido a la preponderante actividad

agrícola de la zona, se situaron dos estaciones en los ríos Cachihuayco y Tambo afluentes secundarios del río Burgay, en su zona alta. (ver Figura 3.4).

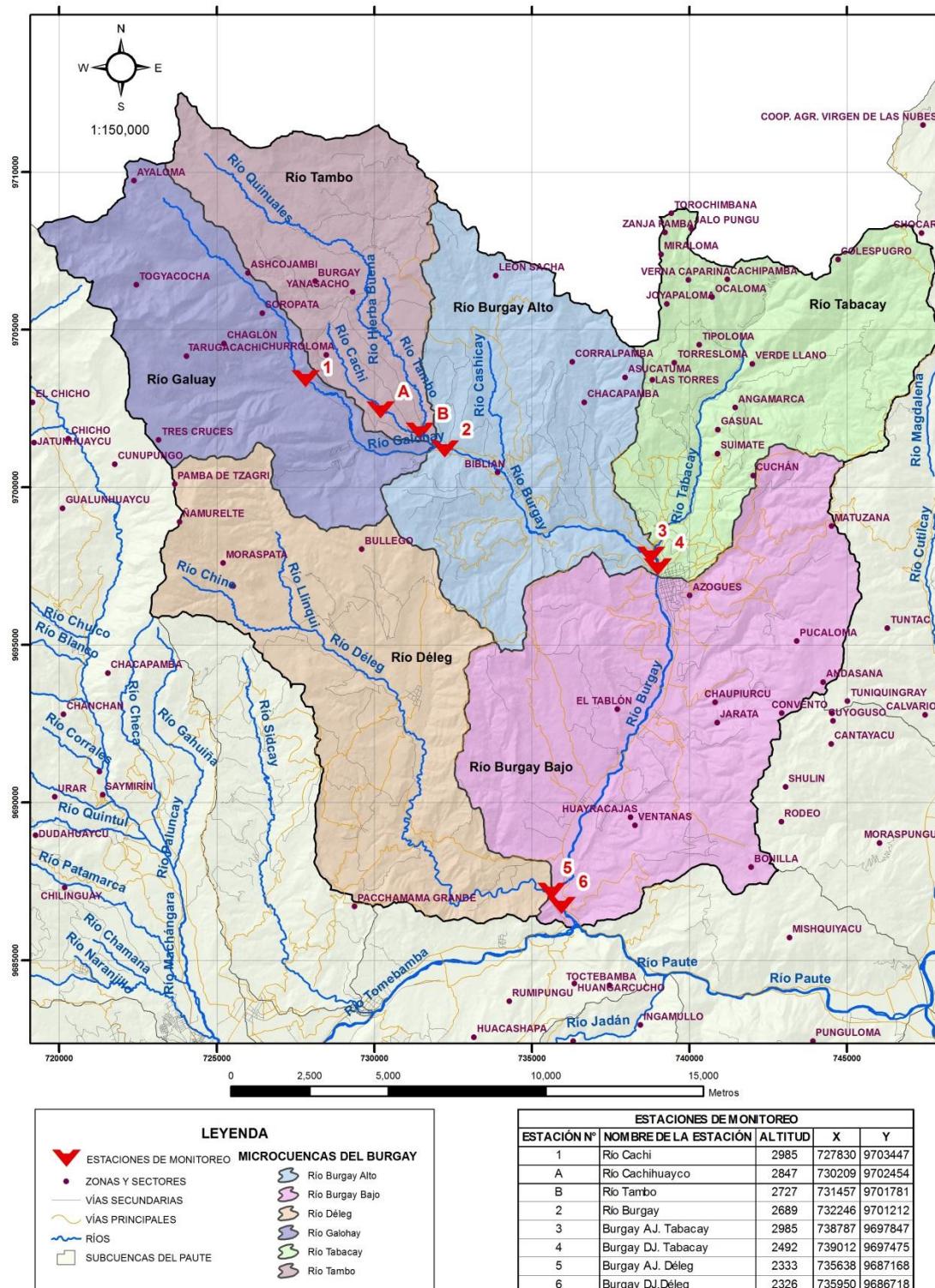


Figura 3.4: Estaciones de Monitoreo



La estación río Cachi está ubicada en la microcuenca del río Galohay; pero en el sitio de captación, este tramo del río Galohay, se denomina Cachi-Galohay, por lo que en adelante, esta estación se nominará Cachi.

La distancia aproximada desde la estación Cachi, hasta la D.J. Déleg, es de 36,28 Km.

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 ocho estaciones, se denomina campaña de muestreo.

Las campañas de muestreo, los ensayos realizados y la frecuencia respectiva, se resumen en la Tabla 3.7

ENSAYO	FEB 2013	MAR 2013	ABR 2013	MAY 2013	JUN 2013	JUL 2013	SEP 2013	OCT 2013	NOV 2013
Indice ICA	x	x	x x	x	x x	x	x x	x	x
Indice BMWP		x		x			x		
Indice QBR									x
Análisis de Plaguicidas			x	x	x	x	x		

Tabla 3.7: Programa de monitoreo calidad del agua del río Burgay

### 3.5 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL

El caudal de una corriente es la cantidad que fluye por una determinada sección transversal del cauce, expresada en volumen por unidad de tiempo.



Aforo es un conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua en un momento dado.

Para la medición se empleó un molinete tipo cazoletas y estabilizador; con criterios técnicos se seleccionaron los sitios de aforo, en los que se determinaron la sección transversal y la velocidad, y finalmente se calculó el caudal. (Datos de Caudales. Anexo 1).

### **3.6 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE ICA**

#### **3.6.1 Definición del Índice de Calidad**

El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.

#### **3.6.2 Conformación de la muestra**

En cada estación, la sección transversal del río se dividió en tramos, y se captaron simultáneamente cinco muestras individuales de 2 litros cada una, a 30 cm de profundidad, evitando las orillas y zonas de poca velocidad; a partir de ellas, se conformó una muestra compuesta de 4 litros, y conservada según instrucciones hasta su llegada al laboratorio para su procesamiento. Para el análisis bacteriológico se tomó una sola muestra en recipiente estéril, en el centro del cauce.

#### **3.6.3 Parámetros**

Los parámetros considerados para determinar el ICA global fueron:

- 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
- SAAM (sustancias activas al azul de metileno)
- Color
- Turbiedad

Parámetros medidos in situ: oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y pH.

(Base de datos para la obtención del ICA. Anexo 2)

### **3.6.4 Métodos de análisis**

Las técnicas utilizadas y sus referencias, estás descritas en el Estándar Métodos para el Análisis del Agua y Agua Residual. 21° Edición (Anexo 3).

### **3.6.5 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  $\text{DBO}_5$  de 5 mg/l medida en una muestra, su correspondiente ICA, se obtiene de la siguiente función de transformación (Figura 3.5)

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

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

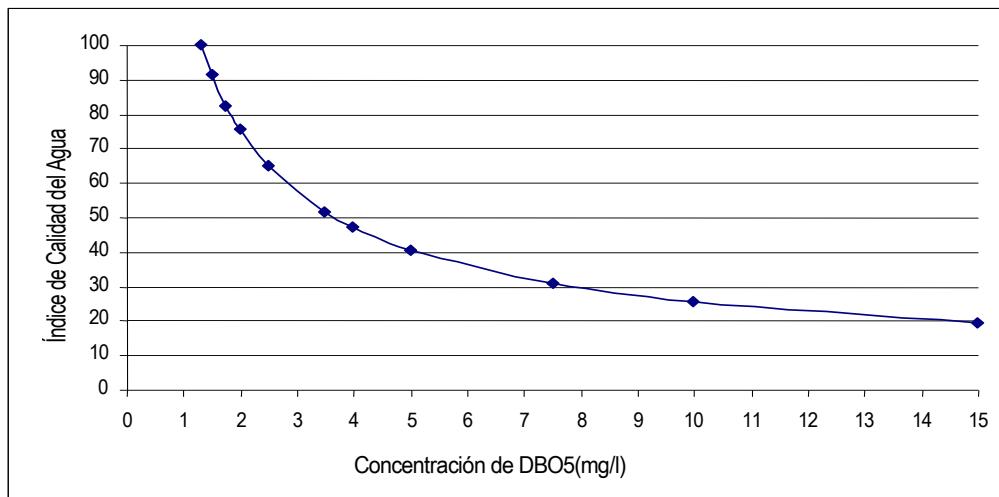


Figura 3.5: Función de transformación para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Su ICA individual será: 40 unidades de calidad.

(Lista de las funciones de transformación, y criterios de cálculo para los 18 parámetros. Anexo 4)

### 3.6.6 Cálculo

El cálculo del ICA se realizó aplicando la Ecuación 2.1

El ICA genera un valor entre 0 y 100, que califica la calidad del agua, a partir del cual y en función del uso, permite estimar el nivel de contaminación de un cuerpo de agua.



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. se indica la agrupación de los parámetros de acuerdo a esta clasificación.

PARAMETRO	CLASIFICACION	PARAMETRO	CLASIFICACION
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 Suspensidos	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 3.8: Agrupación de parámetros para ICA's particulares

### 3.6.7 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.



PARAMETRO	IMPORTANCIA		PARAMETRO	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 Suspensidos	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 3.9: Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA

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.

### 3.6.8 Evaluación del ICA

La Tabla 3.8 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 3.8: Rango de clasificación del ICA, según criterio general



### 3.6.9 Asignación de los Usos

La Tabla 3. presenta la escala de clasificación del índice de calidad del agua

con  
sid  
era  
nd  
O  
un  
crit  
eri  
O  
ge  
ner  
al y

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	Aceptable para	Purificación Ligera
80		Ligera	deporte	todos los Organismos	Purificación para algunos procesos
70	Aceptable	Purificación	Acuatico		
60		Mayor		Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento
50	Poco	Necesidad de	Aceptable no		
40	Contaminado	Tratamiento	Recomendable	Dudosos para especies sensibles	para industria normal
30		Contaminado	Dudoso para contacto directo	Solo organismos	Tratamiento en la mayor parte
20			Sin contacto con el agua	muy resistentes	de la industria
10	Altamente	No	Señal de contaminación	No	Uso muy restringido
	Contaminado	Aceptable	No	Aceptable	No
			Aceptable		Aceptable

los distintos usos que se atribuyen al recurso.

Tabla 3.11: Escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua

## 3.7 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE BMWP

### 3.7.1 Introducción

Los valores de tolerancia utilizados para la evaluación de la calidad del agua mediante el método BMWP, fueron los proporcionados por Roldan en su obra “Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia”, ya que en el Ecuador no existen estudios que definan valores exactos; sin embargo, el índice presenta un significativo grado de aplicabilidad,



puesto que los dos países, cuentan con regiones bioclimáticas similares (Carrera & Fierro, 2001).

### 3.7.2 Método de recolección de la muestra (Red de pantalla)

La recolección de organismos bentónicos se realizó con la red de pantalla, también conocida como red de patada; esta técnica consiste en atrapar macroinvertebrados, removiendo el fondo del río y piedras del lecho del cuerpo de agua, así como la vegetación localizada entre las piedras y orillas de los cauces. Se practicaron dos repeticiones por sitio, cubriendo un área de 2 m<sup>2</sup> por cada estación.

Se ingresa al cuerpo de agua corriente abajo del sitio elegido, para no alterar ni remover los materiales del fondo; un integrante del equipo, de espaldas a la corriente “patea” el fondo; el otro, de cara a la corriente, recibe el material en la red hasta que ésta se llene o hasta que se termine el área de muestreo (Figura 3.6); se procedió a la separación de los macroinvertebrados del resto de material.



Figura 3.6: Ejemplo del uso de la red de pantalla. Fuente: Gonzalo Córdova.

### 3.7.3 Tratamiento de la muestra en el laboratorio

Se procedió a vaciar el contenido en un salabre de 300 µm ó 500 µm de diámetro de malla y se aclaró con abundante agua, para luego repartir el material, en diferentes placas de Petri.

Se recomienda anotar la información más importante en la hoja de recuentos.

Se separaron e identificaron los taxones existentes hasta llegar a un nivel de familia que es lo requerido por el método BMWP. La identificación taxonómica de las familias colectadas se



realizó con la ayuda de libros guías, tales como: Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia (Roldán, Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, 1988), (Birmingham & Hubbard, 2005), (Aquatic Bioassessment Laboratory, 2012).

### **3.7.4 Puntaje y criterio**

La Tabla 3., muestra los valores del índice BMWP asignados a las respectivas familias.



MACROINVERTEBRADOS			Rol Trófico	BMWP/Col. Roldan 2003	
Hydrozoa	Hydridae	Hydridae	PR	10	
Gastrópoda	Basommatophora	Limnaeidae	SC	4	
		Physidae	SC	3	
		Planorbidae	SC	5	
	Mesogastropoda	Hydrobiidae	SC	8	
Bivalvia	Basommatophora / Veneroida	Sphaeriidae	FC	4	
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	OM	7	
Nematomorpha	Gordioidea	-	PA	10	
Oligochaeta	Haplotaxida	-	GC	1	
Hirudinea	Glossiphoniiformes	-	PR	3	
Arachnoidea	Acarina	-	PR	10	
Collembola	Entomobryomorpha	Isotomidae	GC	5	
Crustacea	Grammatidea	Hyalellidae	OM	7	
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	GC	7	
		Leptohyphidae / Tricorythidae	GC	7	
		Leptophlebiidae	GC	9	
	Plecoptera	Perlidae	PR	10	
		Gripopterygidae	PR	10	
	Coleoptera	Psephenidae	SC	10	
		Lampyridae	.....	10	
		Elmidae	GC	6	
		Ptilodactylidae	SH	10	
		Gyrinidae	PR	9	
		Dytiscidae	PR	9	
		Dryopidae	SH	7	
		Hydrophilidae	PR	3	
		Hydraenidae	PR	9	
		Scirtidae	SC	7	
		Tabanidae	PR	5	
		Ceratopogonidae	PR	3	
		Chironomidae	GC	2	
		Dolichopodidae	PR	4	
Trichoptera	Diptera	Dixidae	GC	7	
		Blepharoceridae	SC	10	
		Simuliidae	GC	8	
		Empididae	PR	4	
		Tipulidae	SH	3	
		Culicidae	GC	2	
		Muscidae	PR	2	
		Syrphidae	GC	2	
		Limoniidae	.....	4	
		Psychodidae	GC	7	
		Hydrobiosidae	PR	9	
		Glossosomatidae	SH	7	
		Helicopsychidae	SC	8	
		Hydroptilidae	SH	8	
Megaloptera	Odonata	Leptoceridae	GC	8	
		Limnephilidae	SH	7	
		Polycentropodidae	FC	9	
		Calamoceratidae	SH	8	
		Odontoceridae	PR	10	
		Xiphocentronidae	GC	9	
		Philopotamidae	FC	9	
		Hydropsychidae	FC	7	
		Corydalidae	PR	6	
		Aeshnidae	PR	6	
Hemiptera	Lepidoptera	Libellulidae	PR	6	
		Coenagrionidae	PR	7	
		Corixidae	PR	7	
Lepidoptera		Gerridae	PR	8	
		Pyralidae	SH	5	
			OM: Omnívoro		
BMWP/Col Rosero Fossati			PA: Parásito		
BMWP/Cardoso, Zúñiga			GC: Recolector/colector		
BMWP/Barbour et al., 1999			PR: Predador		
			SC: Raspador		
			FC: Filtradores / colectores		
			SH: Desmenuzadores		

Tabla 3.12: Valores del índice BMWP



El puntaje y criterio para la calidad, se consigue sumando los valores asignados a cada uno de los componentes de la muestra, obteniendo el valor del índice BMWP. La Tabla 3. muestra, los rangos de calidad según este índice; los límites entre las categorías no son estrictos debido a la necesidad de reconocer situaciones intermedias entre unos y otros. (Alba-Tecedor, 1996); (Zamora, 2003).

CLASE	CALIDAD	BMW P	CARACTERISTICAS	COLOR
I	Muy Buena	$\geq 121$	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	Buena	101 - 120	Aguas limpias	Azul claro
III	Aceptable	61 - 100	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	Dudosa	36 - 60	Aguas contaminadas	Amarillo
V	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	Muy Crítica	$\leq 15$	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Tabla 3.13: Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP  
Fuente: Zamora 2003

### 3.7.5 Índice QBR

Las observaciones de campo para evaluar la calidad del hábitat de ribera en los diferentes sitios de muestreo se realizaron en secciones de 100 m. de longitud, y un ancho potencial de la ribera, considerada como la zona inundable, de 50 m. (Gualdoni, Duarte, & Medeot, 2001); (Munné, Prat, Solá, Bonada, & Rieradevall, 2003.) La categorización del índice QBR, se indica en la Tabla 3.

CLASE	CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS	QBR	COLOR
I	Hábitat ribereño en condiciones naturales	$\geq 95$	Azul
II	Poco disturbio (buena calidad)	75 - 90	Verde
III	Disturbio importante (calidad media)	55 - 70	Amarillo
IV	Alteración fuerte (calidad baja)	50 - 70	Naranja
V	Degrado extrema (mala calidad)	$\leq 25$	Rojo

Tabla 3.14: Clases, Valores y Características para hábitats ribereños. QBR  
Fuente: Munné et al 2003



Este índice se determinó en una sola campaña de monitoreo; este estudio es representativo con una sola inspección, por considerar que no existieron modificaciones significativas en la ribera, dentro del período de evaluación del río.

(Fichas de campo con la información de base para el cálculo del índice QBR. Anexo 5)

### **3.8 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LOS PLAGUICIDAS**

#### **3.8.1 Recolección de la muestra**

De la muestra compuesta conformada para la determinación del ICA, se sustrajo un litro de agua, en un recipiente de vidrio color ámbar, se mantuvieron las condiciones adecuadas de temperatura y conservación, y fueron enviadas para su análisis.

#### **3.8.2 Técnica de análisis**

Extracción líquido-líquido, basado en el Analytical Methods for Pesticides, Plant Growth Regulators and Food Additives, 1982, para los plaguicidas organoclorados (GC-ECD); y para los organofosforados, la técnica Extracción líquido-líquido, método Zweig, basado en el Analytical Methods for Pesticides, Plant Growth Regulators and Food Additives, 1982.

Los plaguicidas fueron medidos en los Laboratorios de Agrocalidad, ubicados en Quito.

(Informes emitidos por el Laboratorio de Agrocalidad. Anexo 6)

### **3.9 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO**

El riesgo se evalúa, considerando la naturaleza de la sustancia, y empleando índices de toxicidad que se obtienen de los estudios de dosis-respuesta. (Chang, 2012)



### 3.9.1 Para sustancias no cancerígenas

La EPA, emplea dos índices:

- **Indice de Peligro:** Es una medida de la “toxicidad crónica” a la que se expone la población, por presencia del tóxico en la matriz ambiental estudiada; establece la relación entre la dosis suministrada a largo plazo, y la dosis de referencia dada por los organismos competentes (Perez, 2012).

$$\text{Indice de peligro (IP)} = \frac{\text{Exposición medida: DDPV}}{\text{RfDco}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde:

**DDPV:** dosis diaria promedio vitalicia: es la dosis diaria de tóxico que la persona recibiría, durante toda su vida, si la exposición fuera continua, a una concentración dada. Se calcula mediante la Ecuación 3.2. (Perez, 2012)

$$\text{DDPV} = \frac{\text{CT} * \text{TC} * \text{TA} * \text{PE} * \text{FE}}{\text{PC} * 70 * 365} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

En donde:

CT: concentración del tóxico en la matriz ambiental analizada (agua): mg/l

TC: tasa de contacto: 2l/hab.día (recomendada por la EPA)

TA: tasa de absorción: (0.7, para plaguicidas en agua potable)

PE: período de exposición: años

FE: frecuencia de exposición: día/año

PC: peso corporal de la persona: kg/hab

**RfDco:** dosis de referencia crónica oral (base de datos): nivel de exposición diario de una población, durante toda la vida, para el que no existe un riesgo apreciable de efectos adversos.

El uso de la RfDco suele reservarse a la evaluación de riesgos para períodos de exposición entre 7 años y toda la vida, suponiendo una expectativa media de existencia de 70 años. (US EPA, 1989<sub>a</sub> citado por (Moreno, 2003)).



La RfDco es semejante a la “Ingesta diaria admisible” (IDA), término usado por la Organización Mundial de la Salud para pesticidas y aditivos alimentarios, que se define como: “la ingesta diaria de un producto químico que, durante toda la vida, parece estará libre de riesgo apreciable, a la luz de los conocimientos actuales (OMS, 1992)”. Si existen datos adecuados obtenidos a partir de estudios sobre seres humanos, éstos deben servir de base para el cálculo de la RfDco. Si no se dispone de esta información, se puede utilizar los resultados experimentales realizados con animales, en el mejor estudio disponible, del cual se toma como dato de referencia el NOAEL, e introduciendo los respectivos factores de incertidumbre y de modificación.

El fundamento del uso del NOAEL como base para el cálculo de la dosis de referencia, es que si el nivel de exposición es inferior a aquel en que aparece el efecto crítico, se previene la aparición de dicho efecto, así como de cualquier otro para el que la especie investigada es menos sensible (Moreno, 2003).

Si el IP presenta valores inferiores a la unidad, no es previsible que se presenten efectos adversos sobre la salud humana; en caso contrario, si pueden producirse estos efectos (Manring, 1997).

- Margen de Exposición: Es una medida de la “toxicidad aguda” a la que se expone la población, por la presencia del tóxico en la matriz ambiental estudiada; establece la relación entre el NOAEL, y la dosis suministrada a la población, en un día de ingesta de agua (Perez, 2012).

Se calcula mediante la Ecuación 3.3



$$\text{Margen de exposición (ME)} = \frac{\text{NOAEL}}{\text{Dosis suministrada}}$$

Ecuación 3.3

En donde:

**NOAEL:** Nivel sin efecto adverso observable: máxima concentración, o nivel de una sustancia, hallada experimentalmente o por observación, que no causa alteraciones adversas detectables en la morfología, capacidad funcional, crecimiento o duración de la vida de los organismos diana, distinguibles de los observados en organismos normales (grupo control) de la misma especie y cepa, bajo condiciones definidas de exposición. Se expresa en mg/kg día.

El NOAEL aplicable, debe ser el obtenido en el mejor estudio crítico disponible (Perez, 2012).

**Dosis suministrada por día (dosis actual):** Cantidad de tóxico consumido por día, a partir de una concentración dada y en la vía de exposición considerada; se expresa en: mg/kg día

Cuanta más alta sea esta relación, mayor es el margen de exposición o seguridad (Manring, 1997).

### 3.9.2 Para cancerígenos

La ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades), basa la evaluación, en el índice de riesgo para cáncer.

- **Indice de Riesgo para Cáncer:** Es la probabilidad (adimensional) de que se produzca cáncer, como consecuencia de la exposición al contaminante (Moreno, 2003).

Se calcula con la Ecuación 3.4

$$\text{Riesgo de cáncer} = \frac{\text{DDPV} * \text{Factor de pendiente}}{\text{Dosis permitida (para un riesgo dado)}}$$

Ecuación 3.4

En donde:



**Dosis permitida para un riesgo dado:** Es la dosis suministrada diariamente para obtener un riesgo establecido, a partir de una concentración dada (base de datos); por ejemplo: la concentración permitida para la ingesta de arsénico en el agua, para un riesgo de 1E-6, (posibilidad de que una persona puede contraer cáncer, por cada millón), es de: 2E-5 mg/l; esta concentración se transforma en dosis permitida, mediante la ecuación 3.6

$$\text{Dosis permitida} = \frac{\text{Concentración Permitida} * \text{TC}}{\text{PC}} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$\text{Dosis permitida} = 2\text{E}^{-5} \text{ mg As/l} * 2\text{l/hab. día} / 70 \text{ kg hab} = 5.71\text{E}^{-7} \text{ mg/día kg.}$$

Si el riesgo calculado es mayor a 1, significa que hay un incremento en la probabilidad de padecer de cáncer, mayor que el calculado para una unidad por millón de habitantes.

**Factor de pendiente:** representa cuantitativamente la relación entre la dosis de agente cancerígeno y la incidencia de tumores (Moreno, 2003).

### 3.9.3 Datos toxicológicos de los plaguicidas

Esta información se obtuvo de la Base de Datos Toxicológicas: IRIS (Sistema de Información Integral de Riesgos. Anexo7)

### 3.9.4 Cálculo del riesgo

El riesgo se evaluó individualmente en las estaciones que superaron la normativa establecida por el TULAS, y para un uso específico: “cuerpos receptores destinados a consumo humano y uso doméstico que únicamente requerien desinfección”, de: 10 ppb para plaguicidas órgano clorados , y 100 ppb para plaguicidas órgano fosforados.

Criterio para el cálculo del riesgo: para el análisis del riesgo se consideró el uso más delicado del recurso, el “consumo humano”, y bajo el supuesto de que en la mayoría



de los sistemas de agua potable que usan el río como fuente de abastecimiento, sólo se aplica la desinfección; en estas condiciones, la población está realmente “expuesta a un riesgo”, al ingerir el agua con una concentración de plaguicidas superior a la legislación preceptiva, y porque el mecanismo de desinfección empleado cualesquiera que éste sea, no elimina el riesgo.

En este sentido es posible aplicar la DDPV (dosis promedio diaria vitalicia), a partir de las concentraciones encontradas, y bajo la presunción de que una población hace uso de esta fuente sin tratamiento previo (planteamiento de la hipótesis), durante 25 años, dentro de una expectativa de vida de 70 años.

La vía de exposición (consumo de agua), implica un contacto directo con el medio muestreado (el río); por lo tanto la ruta medioambiental del contaminante es: “de la fuente al organismo humano”.

### **3.10 DESTINO AMBIENTAL DE LOS PLAGUICIDAS**

Para predecir el comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente, se recopilaron datos sobre las propiedades de estas sustancias.

Esta información se obtuvo, de la Base de Datos PPBD (Pesticide Properties Data Base), y del Manual “Agrochemicals Desk Reference” 2<sup>da</sup>. Edición; John H. Montgomery; 1997. (Anexo 8).



## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 VALORES DE ICA Y USOS DEL AGUA

#### 4.1.1 Clasificación de caudales

La calidad del agua y por tanto los usos, depende del caudal; la Tabla 4.1 enseña los doce muestreos realizados y clasificados por caudales, para su posterior interpretación.

#### 4.1.2 Valores del ICA

La Tabla 4.2 muestra los resultados del ICA por estación; y la Tabla 4.3 establece el criterio general de calidad del ICA.

#### 4.1.3 Definición de usos por caudal

La

Tabla 4.4, define los usos del agua en caudal bajo, la Tabla 4.5 en caudal medio y la Tabla 4.6 en caudal alto.

### 4.2 VALORES DEL BMWP Y USOS DEL AGUA

La Tabla 4.7, muestra los índices biológicos: BMWP, QBR, y riqueza de familias, con sus correspondientes criterios de calidad, en los tres monitoreos.

### 4.3 VALORES DE PLAGUICIDAS Y COMPARACION CON NORMATIVA TULAS

La Tabla 4.8, presenta los resultados de plaguicidas en los cinco monitoreos realizados. Los valores en negrita, representan aquellos que superaron la Normativa Tulas:



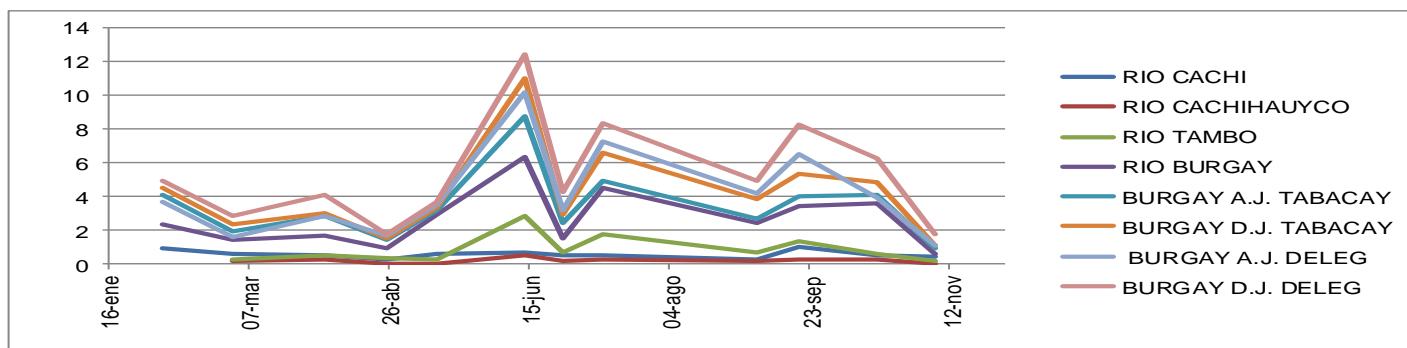
Plaguicidas OC = 10 ppb; Plaguicidas OF = 100 ppb.

#### 4.4 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO

La Tabla 4.9 , exhibe los Indices de Toxicidad: Indice de Peligro (IP), Margen de Exposición (ME), y la Probabilidad del riesgo de cáncer, calculados para las estaciones que superaron los valores preceptivos de norma.

Tabla 4.1: Clasificación de muestreos por caudales

	04-feb-13	01-mar-13	03-abr	25-abr	13-may	13-jun	27-jun	11-jul	04-sep	19-sep	17-oct	07-nov
RIO CACHI	0,9	0,62	0,53	0,26	0,56	0,70	0,55	0,50	0,29	1,00	0,54	0,43
RIO CACHIHAYUCO		0,22	0,24	0,04	0,05	0,55	0,20	0,27	0,17	0,26	0,24	0,02
RIO TAMBO		0,28	0,49	0,33	0,29	2,88	0,72	1,76	0,72	1,35	0,57	0,18
RIO BURGAY	2,32	1,40	1,66	0,91	2,95	6,35	1,52	4,55	2,47	3,47	3,61	0,62
BURGAY A.J. TABACAY	4,13	1,92	2,81	1,44	3,14	8,76	2,45	4,96	2,72	4,04	4,11	0,91
BURGAY D.J. TABACAY	4,5	2,32	3,04	1,53	3,38	11,00	2,96	6,61	3,83	5,37	4,84	1,12
BURGAY A.J. DELEG	3,71	1,62	2,88	1,70	3,48	10,20	3,21	7,24	4,15	6,55	3,90	1,07
BURGAY D.J. DELEG	4,9	2,88	4,11	1,79	3,71	12,42	4,25	8,36	4,94	8,23	6,23	1,75
caudal alto/medio/bajo	medio	bajo	medio	bajo	medio	alto	medio	alto	medio	alto	medio	bajo



Se clasifican los caudales obtenidos, del muestreo distribuido a lo largo del año. Aquellos que superan el percentil 80 se clasifican como altos, los que están bajo el percentil 20 como bajos, y el resto medios. En global resultan tres valores altos, seis medios, y tres bajos.

Tabla 4.2: Valores del ICA por estación

VALORES DEL ICA POR ESTACION												
MUESTREOS	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12
FECHA	04-feb	01-mar	03-abr	25-abr	13-may	13-jun	27-jun	11-jul	04-sep	19-sep	17-oct	07-nov
CAUDAL	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	BAJO
CACHI	58,8	60,1	61,9	67,8	71,4	69,6	69,1	68,1	68,2	64,9	69,8	70,8
CACHIHUAYCO	∞	55,5	61,0	66,1	67,4	62,3	65,9	64,5	66,6	59,0	65,1	67,6
TAMBO	∞	58,7	58,5	63,9	69,8	63,1	67,8	65,1	65,8	56,6	61,6	65,1
BURGAY	46,1	63,4	63,5	62,6	68,4	60,3	67,9	64,4	63,2	57,3	64,8	66,5
BURGAY A.J. TABACAY	45,6	49,9	59,6	51,9	56,1	57,9	53,8	53,9	51,4	49,9	52,5	58,0
BURGAY D.J. TABACAY	44,8	46,2	55,2	48,1	55,3	53,8	51,6	55,8	49,4	45,8	52,8	47,8
BURGAY A.J. DELEG	43,1	41,5	48,9	*	49,8	50,9	51,4	48,3	43,7	40,1	43,9	42,8
BURGAY D.J. DELEG	43,1	42,8	48,7	*	49,7	50,9	47,1	45,7	46,0	39,3	44,6	40,7

∞ No pudo captarse la muestra.

• Inhibición de crecimiento bacteriano por severa toxicidad

El máximo ICA registrado 71,4 en la estación Cachi; y el mínimo de 39,3 en Burgay DJ. Déleg.

Los valores del ICA, en escalas de calidad a colores, se muestran en la Tabla 4.3

Tabla 4.3: Criterio general del ICA por estación y muestreo

ESTACIÓN	CRITERIO GENERAL ICA POR MUESTREO											
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12
RIO CACHI	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE
RIO CACHIHAYCO	∞	POCO CONTAMINADO										
RIO TAMBO	∞	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO						
BURGAY ORIGEN	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO
BURGAY A.J. TABACAY	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO
BURGAY D.J. TABACAY	CONTAMINADO	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO
BURGAY A.J. DELEG	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	•	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO
BURGAY D.J. DELEG	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	•	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO

∞ No pudo captarse la muestra

• Inhibición de crecimiento bacteriano por severa toxicidad en la muestra

Al incrementar progresivamente el caudal del río, debido a los usos del suelo, la erosión, y las descargas de aguas residuales, su calidad va disminuyendo. Con estos niveles de contaminación, en la siguiente tabla se sugieren los usos del recurso, en caudal bajo, medio y alto.

Tabla 4.4: Usos del agua en caudal bajo

CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA POR ESTACIÓN EN CAUDAL BAJO								
MUESTREOS	M2	M4	M12	PROMEDIO MUESTREOS	CRITERIO DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO 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	01-mar	25-abr	07-nov					
ESTACIONES	M2	M4	M12					
CACHI	60,13	67,82	70,79	66,25	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
CACHIHUAYCO	55,54	66,06	67,58	63,06	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
TAMBO	58,73	63,93	65,10	62,59	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY	63,41	62,63	66,48	64,17	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY A.J. TABACAY	49,94	51,85	58,03	53,27	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY D.J. TABACAY	46,23	48,11	47,81	47,38	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
BURGAY A.J. DELEG	41,52		42,82	42,17	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
BURGAY D.J.DELEG	42,80		40,65	41,73	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA

En las primeras cinco estaciones, los usos son prácticamente los mismos; a partir de Burgay DJ Tabacay, la calidad disminuye, restringiendo fuertemente los beneficios del recurso.

Tabla 4.5: Usos del agua en caudal medio

CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA EN CAUDAL MEDIO											
MUESTREOS	M 1	M 3	M 5	M 7	M 9	M 11	PROMEDIO MUESTREOS	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	04-feb	03-abr	13-may	27-jun	04-sep	17-oct					
ESTACIONES	M1	M3	M5	M7	M9	M11					
CACHI	58,77	61,90	71,37	69,05	68,21	69,84	66,52	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
CACHIHUAYCO	-----	61,00	67,35	65,90	66,57	65,13	65,19	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
TAMBO	-----	58,45	69,80	67,79	65,76	61,56	64,67	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY	46,12	63,51	68,39	67,88	63,17	64,82	62,32	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY A.J. TABACAY	45,58	59,58	56,05	53,82	51,44	52,49	53,16	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY D.J. TABACAY	44,75	55,22	55,34	51,63	49,35	52,78	51,51	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY A.J. DELEG	43,10	48,93	49,76	51,35	43,68	43,92	46,79	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
BURGAY D.J. DELEG	43,14	48,67	49,66	47,10	46,03	44,56	46,53	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA

En caudal medio, la calidad es mayor. La categoría de “dudoso”, se asigna sólo a las dos últimas estaciones.

Tabla 4.6: Usos del agua en caudal alto

CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA EN CAUDAL ALTO								
MUESTREOS	M6	M8	M10	PROMEDIO MUESTREOS	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	13-jun	11-jul	19-sep					
ESTACIONES	M6	M8	M10					
CACHI	69,57	68,12	64,92	67,54	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
CACHIHUAYCO	62,30	64,46	58,95	61,90	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
TAMBO	63,13	65,12	56,55	61,60	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY	60,29	64,35	57,26	60,63	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY A.J. TABACAY	57,89	53,86	49,88	53,88	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY D.J. TABACAY	53,84	55,75	45,81	51,80	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
BURGAY A.J. DELEG	50,87	48,28	40,13	46,43	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
BURGAY D.J.DELEG	50,91	45,67	39,34	45,31	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA

Los usos son semejantes a los obtenidos en caudal medio.

Tabla 4.7: Indices Biológicos y criterio por muestreo

INDICES BIOLGICOS							
	BMWWP		QBR	% RIQUEZA			
MUESTREOS	M2	M5	M9		M2	M5	M9
FECHA	01-mar	13-may	04-sep		01-mar	13-may	04-sep
CACHI	90	77	52	55	14	11	9
CACHIHUAYCO	44	29	45	50	9	5	10
TAMBO	29	50	37	50	5	7	7
RIO BURGAY	54	32	53	35	10	5	9
BURGAY A.J. TABACAY	29	21	21	20	6	5	5
BURGAY D.J. TABACAY	13	12	13	15	4	4	4
BURGAY A.J. DELEG	11	30	20	20	3	7	5
BURGAY D.J. DELEG	13	26	15	20	4	7	5

	CRITERIO BMWWP POR MUESTREO			CRITERIO QBR
MUESTREOS	MUESTREO 2	MUESTREO 5	MUESTREO 9	
FECHA	01-mar	13-may	04-sep	
RIO CACHI	ACEPTABLE	ACEPTABLE	DUDOSA	DISTURBIO IMPORTANTE
RIO CACHIHAYCO	DUDOSA	CRITICA	DUDOSA	ALTERACION FUERTE
RIO TAMBO	CRITICA	DUDOSA	DUDOSA CRITICA	ALTERACION FUERTE
RIO BURGAY	DUDOSA	CRITICA DUDOSA	DUDOSA	ALTERACION FUERTE
BURGAY A.J. TABACAY	CRITICA	CRITICA	CRITICA	DEGRADACION EXTREMA
BURGAY D.J. TABACAY	MUY CRITICA- CRITICA	CRITICA	MUY CRITICA- CRITICA	DEGRADACION EXTREMA
BURGAY A.J. DELEG	MUY CRITICA CRITICA	CRITICA	CRITICA- MUY CRITICA	DEGRADACION EXTREMA
BURGAY D.J. DELEG	MUY CRITICA CRITICA	CRITICA	MUY CRITICA- CRITICA	DEGRADACION EXTREMA

El valor más alto para el índice BMWWP es de 90 en la estación Cachi; y el más bajo de 11, se registra en Burgay AJ Déleg. El índice (QBR) más alto es de 55, en la estación Cachi y el mínimo de 15 en Burgay DJ Tabacay. Los criterios de calidad, consignan un nivel aceptable sólo para la estación Cachi, pero acompañada de un disturbio importante en su ribera; paulatinamente la calidad disminuye, y en las tres últimas estaciones adquiere niveles de muy crítica, con una degradación extrema de ribera.

Tabla 4.8: Análisis de residuos de pesticidas por muestreo

ESTACIÓN	ANALISIS DE RESIDUOS DE PESTICIDAS POR MUESTREO																			
	MUESTREO 3				MUESTREO 5				MUESTREO 7				MUESTREO 8				MUESTREO 9			
FECHA	03-abr				13-may				27-jun				11-jul				04-sep			
	OF		OC		OF		OC		OF		OC		OF		OC		OF		OC	
	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb	Nombre	ppb
RIO CACHI	ND		Lindano	7,55	ND		ND		ND		d-HCH	0,009	ND		ND		ND		d-HCH	0,027
			Cisheptacloroepóxido	4,55							Aldrin	0,019								
			<b>Sumatoria</b>	12,10							b-Endosulfan	0,02								
											Endosulfan Sulfato	0,029								
RIO CACHIHAYCO	ND		ND		X		X		ND		ND		ND		BHC	0,09	ND		d-HCH	0,130
									ND						a-Endosulfan	0,03				
									ND						b- Endosulfan	0,02				
											<b>Sumatoria</b>	0,044				<b>Sumatoria</b>	0,14			
RIO TAMBO	ND		ND		ND		ND		ND		b-Endosulfan	0,016	ND		pp-DDE	0,11	ND		d-HCH	0,022
											Endosulfan Sulfato	0,028								
											<b>Sumatoria</b>	0,044								
											d-HCH	0,012								
BURGAY A.J. TABACAY	ND		ND		ND		ND		ND		lindano	0,011	ND		a-Endosulfan	0,04	ND		ND	ND
											d-HCH	0,011								
											<b>Sumatoria</b>	0,025								
BURGAY D.J. TABACAY	ND		Lindano	9,57	ND		ND		ND		lindano	0,011	ND		a-Endosulfan	0,04	ND		d-HCH	0,238
			Cisheptacloroepóxido	5,58							d-HCH	0,011								
			pp-DDE	61,7							<b>Sumatoria</b>	0,022								
			<b>Sumatoria</b>	76,8																
BURGAY A.J. DELEG	ND		Lindano	14,7	Diazinón	6,85	ND		ND		lindano	0,012	ND		a-Endosulfan	0,02	ND		d-HCH	0,022
			Cisheptacloroepóxido	13,1	Profenofos	592														
			pp-DDE	22,6																
			<b>Sumatoria</b>	50,4	<b>Sumatoria</b>	599														
BURGAY D.J. DELEG	ND		ND		X		X		ND		lindano	0,027	ND		a-Endosulfan	0,04	ND		d-HCH	0,02
											Aldrin	0,020								
											Endosulfan Sulfato	0,033								
											<b>Sumatoria</b>	0,080								

x Muestra no analizada por derrame durante el transporte.

ND No detectado.

En el muestreo 3 (primero para plaguicidas), las estaciones donde se registran plaguicidas, todas superan los valores referenciales de la Norma Tulas, para órgano clorados (10 ppb); y en el muestreo 5 (segundo para plaguicidas), sólo una estación registra plaguicidas y supera los valores, para los órgano fosforados (100 ppb).

Tabla 4.9: Riesgo toxicológico por estación

EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO			
PLAGUICIDA	EFECTOS NO CANCERIGENOS		EFECTOS CANCERIGENOS
	Indice de Peligro: IP	Margen de Exposición: ME	Probabilidad de Riesgo de Cáncer
<b>3 de Abril del 2013</b>			
<b>ESTACION CACHI</b>			
Lindano	4,68E <sup>-04</sup>	2091,3	
Cisheptacloroepóxido	6,51E <sup>-03</sup>	115,7	9,6E <sup>+00</sup>
<b>Riesgo Total:</b>	<b>6,97E<sup>-03</sup></b>	<b>2207,0</b>	<b>9,6E<sup>+00</sup></b>
<b>ESTACION DJ TABACAY</b>			
Lindano	5,93E <sup>-04</sup>	1649,9	
Cisheptacloroepóxido	7,98E <sup>-03</sup>	94,3	1,2E <sup>+01</sup>
pp-DDE	5,73E <sup>-02</sup>	17,1	1,9E <sup>-01</sup>
<b>Riesgo Total:</b>	<b>6,59E<sup>-02</sup></b>	<b>1761,3</b>	<b>1,2E<sup>+01</sup></b>
<b>ESTACION AJ DELEG</b>			
Lindano	9,12E <sup>-04</sup>	1072,7	
Cisheptacloroepóxido	1,87E <sup>-02</sup>	40,2	2,8E <sup>+01</sup>
pp-DDE	2,10E <sup>-02</sup>	46,7	7,1E <sup>-02</sup>
<b>Riesgo Total:</b>	<b>4,06E<sup>-02</sup></b>	<b>1159,5</b>	<b>2,8E<sup>+01</sup></b>
<b>13 de Mayo del 2013</b>			
<b>ESTACION AJ DELEG</b>			
Diazinón	1,41E <sup>-03</sup>	691,5	
Profenofos	1,55E <sup>-01</sup>	6,2	
<b>Riesgo Total:</b>	<b>1,56E<sup>-01</sup></b>	<b>697,7</b>	

El índice de peligro (IP), en todas las estaciones es menor a uno, y el margen de exposición (ME) muy superior a uno; por lo tanto los índices para efectos no cancerígenos, sugieren que no hay riesgo en la fuente para este tipo de efectos.

En cambio, el índice de probabilidad del riesgo de cáncer, es superior a uno, lo que sugiere que estas estaciones, si presentan un riesgo para este tipo de efectos, tanto más, cuanto mayor a uno sea el índice.



La Tabla 4.10, visualiza la “evolución de la calidad del agua”, durante el período de evaluación; para su interpretación, se exhiben el índice ICA, el BMWP, y los plaguicidas, en cada estación.

La Figura 4.1, presenta la variación temporal del ICA; las gráficas muestran las tendencias de la calidad en las ocho estaciones.

La Figura 4.2, establece la relación entre los valores de las medianas del ICA y el caudal; en cada estación, se distingue una calidad (mediana) para caudal alto, medio y bajo.

La Figura 4.3, analiza la variación espacial del ICA; la calidad disminuye a medida que aumenta el caudal, en todas las condiciones metereológicas.

La Figura 4.4, relaciona los índices ICA y MWP, en diferentes caudales.

Figura 4.5, Box plots del ICA por estación y BMWP por monitoreo y por estación. Se incluye también, como indicador de calidad del agua, el número de plaguicidas detectados en todos los muestreos y en todas las estaciones; hay estaciones más afectadas que otras.

La Figura 4.6, relaciona las concentraciones de plaguicidas por estación y por monitoreo vs. ICA; los plaguicidas más frecuentes durante el período de evaluación, han sido el lindano (gama hexacloro ciclo hexano) y el delta hexacloro ciclo hexano; no obstante las concentraciones son significativamente diferentes, y por lo tanto el riesgo toxicológico por su presencia también.

Finalmente, la Tabla 4.11, muestra la recuperación de la calidad, en un ejercicio hipotético, en el cual, se fijan para los nutrientes concentraciones que le permitieran un ICA de 100 puntos (ver funciones de transformación); el resultado neto es que la calidad en algunas estaciones, pasarían de “poco contaminada”, a “aceptable” ; la mayor parte de las estaciones adquieren la condición de “poco contaminada”, y casi



no hay estaciones “contaminadas”; en la práctica esto es muy difícil de conseguir, puesto que la contaminación difusa debida a nutrientes, es muy difícil de controlar.

Tabla 4.10: Evolución de la calidad del agua del río Burgay en el periodo de estudio

ESTACION	CRITERIO GENERAL ICA POR MUESTREO												CRITERIO BMWP POR MUESTREO			ANALISIS DE RESIDUOS DE PESTICIDAS POR MUESTREO									
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 2	M 5	M 9	M 3	M 5	M 7	M 8	M 9					
RIO CACHI	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	DUDOSA	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	ND	OC	D
RIO CACHIHAYCO	∞	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	DUDOSA	CRITICA	DUDOSA	OC	ND	* *	OC	ND	OC	D	OC	D	
RIO TAMBO	∞	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	ACCEPTABLE	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	CRITICA	DUDOSA	DUDOSA	OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
BURGAY ORIGEN	CONTAMINADO	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	DUDOSA	CRITICA	DUDOSA	OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	ND	OC	D
BURGAY AJ. TABACAY	CONTAMINADO	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	CRITICA	CRITICA	CRITICA	OC	ND	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	ND
BURGAY D.J. TABACAY	CONTAMINADO	CONTAMINADO	POCO CONT.	CONTAMINADO	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	CONTAMINADO	POCO CONT.	CONTAMINADO	POCO CONT.	MUY CRITICA-	MUY CRITICA	MUY CRITICA-	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
BURGAY AJ. DELEG	CONTAMINADO	CONTAMinADO	CONTAMINADO	•	POCO CONT.	POCO CONT.	POCO CONT.	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	MUY CRITICA	CRITICA	CRITICA	OC	D	OC	ND	OC	D	OC	D	OC	D
BURGAY D.J. DELEG	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	•	POCO CONT.	POCO CONT.	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	CONTAMINADO	MUY CRITICA	MUY CRITICA	CRITICA	OC	ND	* *	OC	D	OC	D	OC	D	

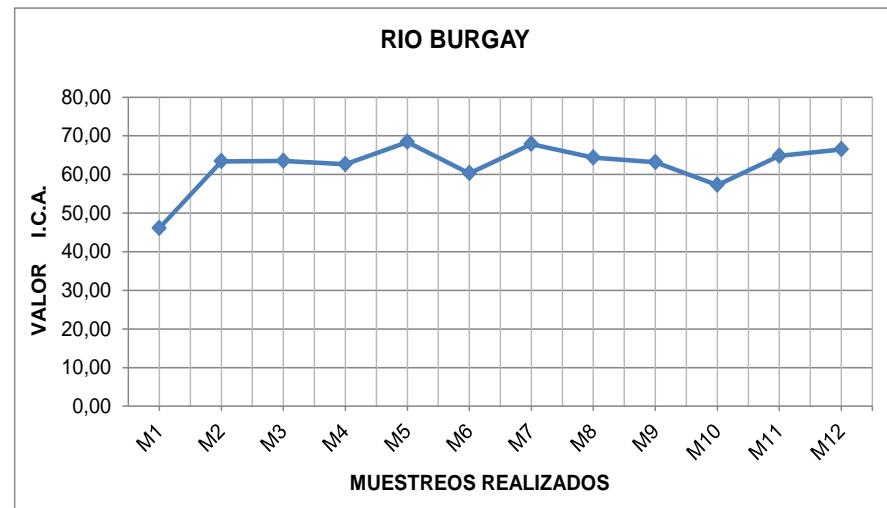
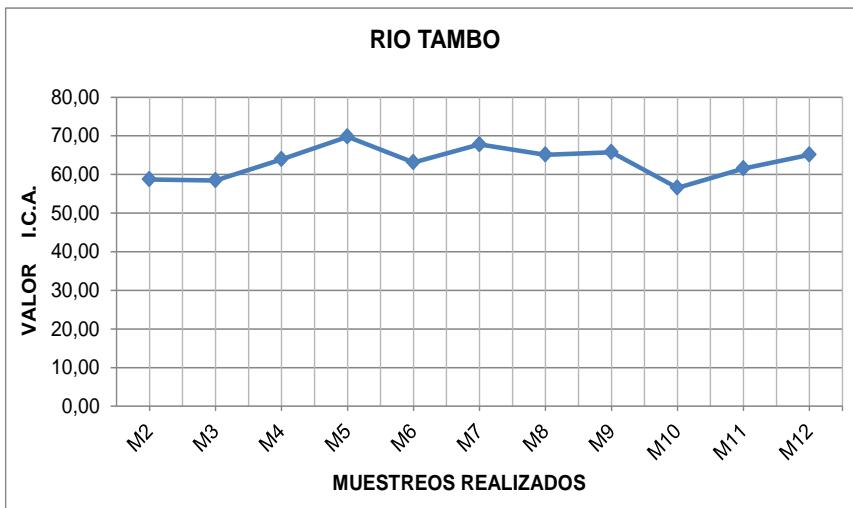
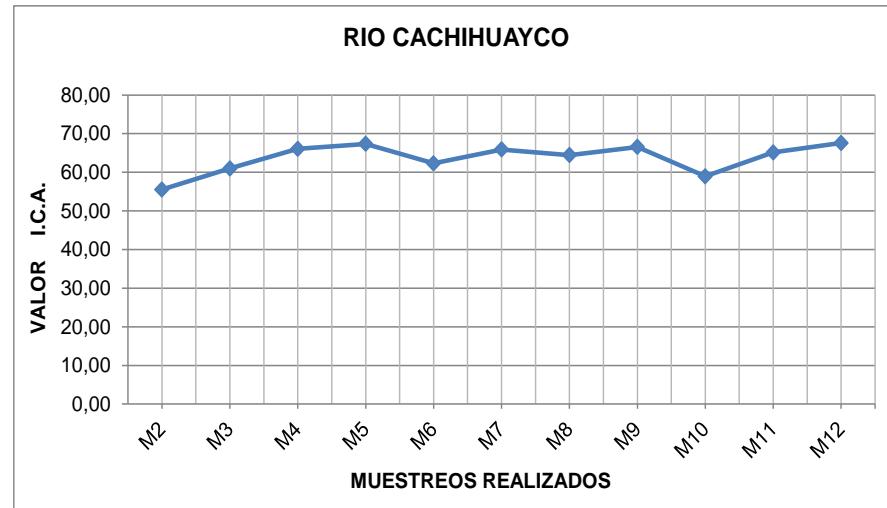
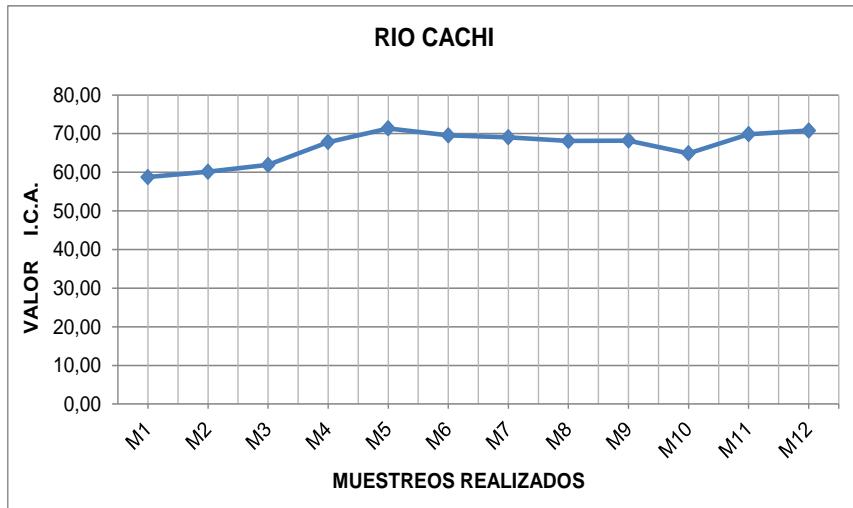
∞ No pudo captarse la muestra.

• Severa Toxicidad

x Muestra no analizada por derrame durante el transporte.

OC = plaguicida órgano clorado; OF = plaguicida órgano fosforado; D = detectado; ND = no detectado.

Para un mismo rango de ICA, el índice BMWP es diferente (estaciones: Burgay origen y Burgay AJ Tabacay); la presencia de plaguicidas (celdas con sombra), no guarda relación con el ICA y el BMWP; los plaguicidas están presentes en todas las estaciones.



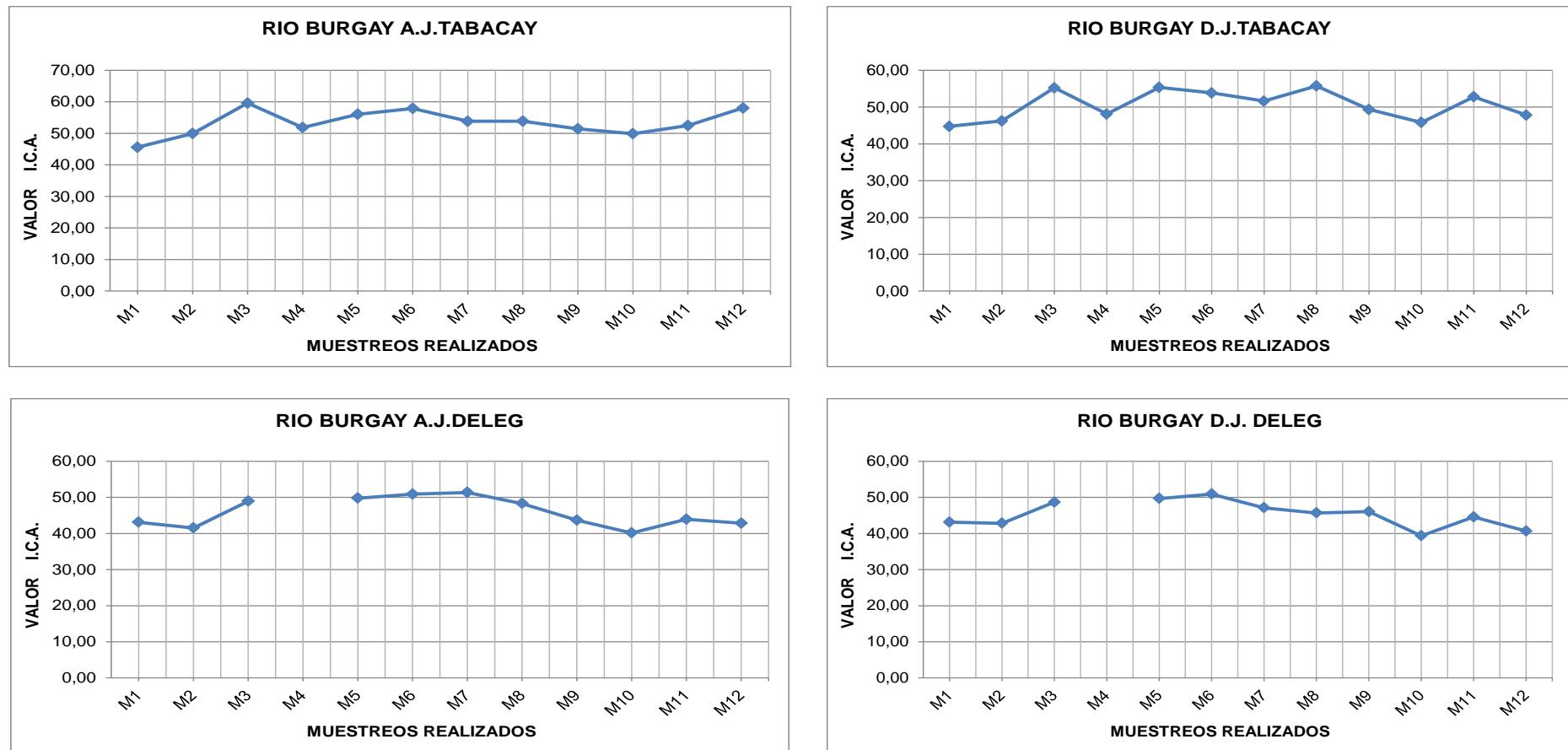
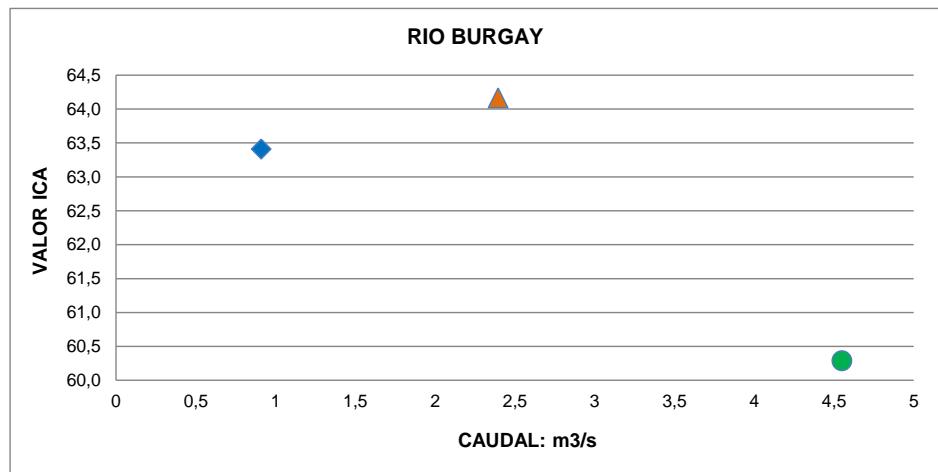
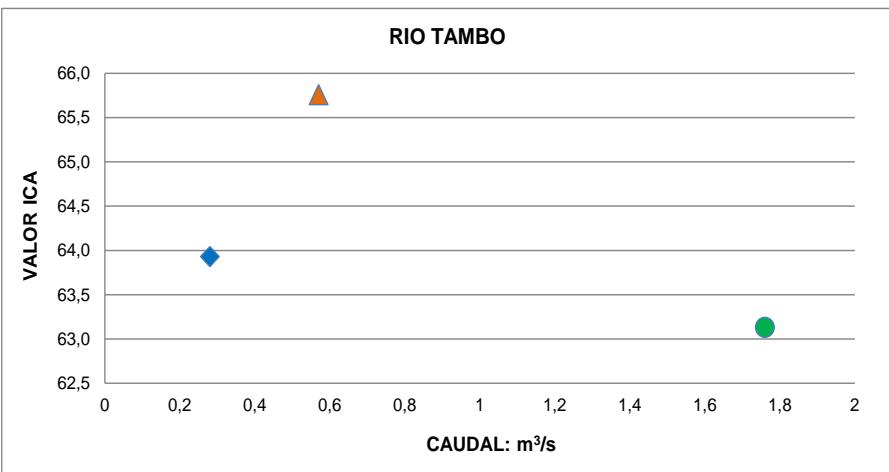
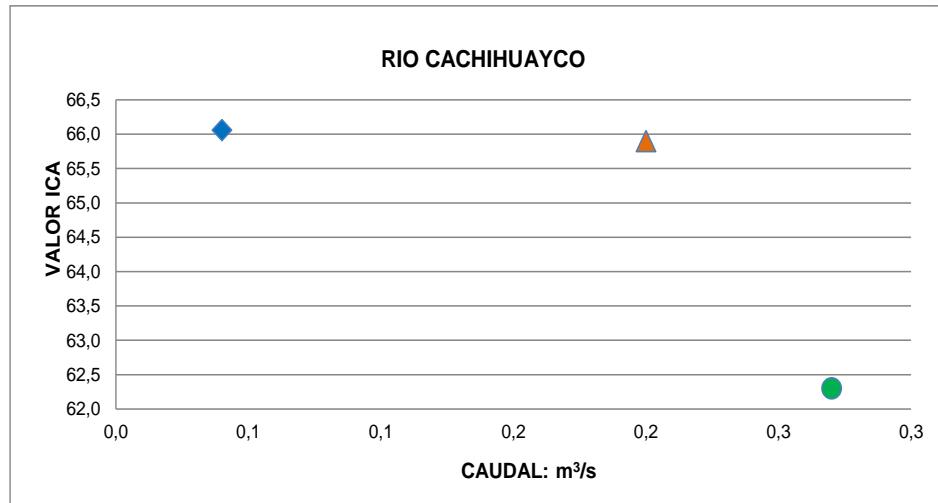
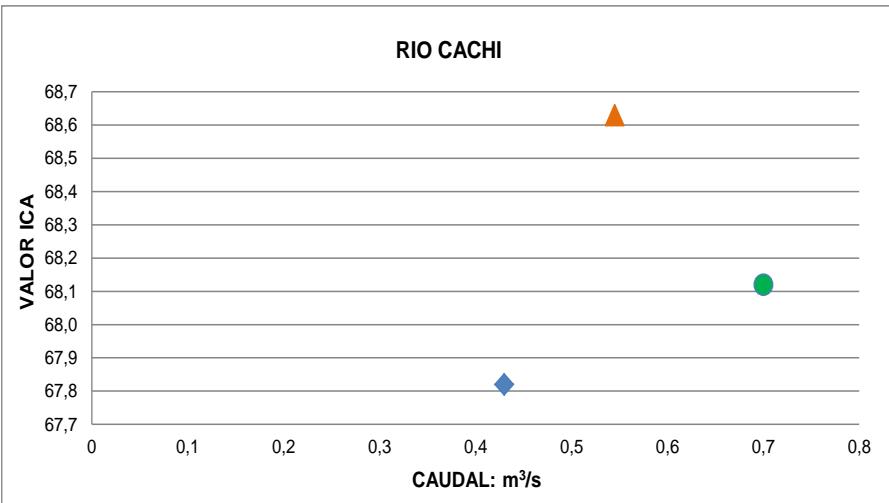


Figura 4.1: Variación temporal de la calidad por estación

La variabilidad del ICA, es de 11 a 14 puntos en todas las estaciones, excepto en Burgay (origen), cuya variación es de 20 puntos.



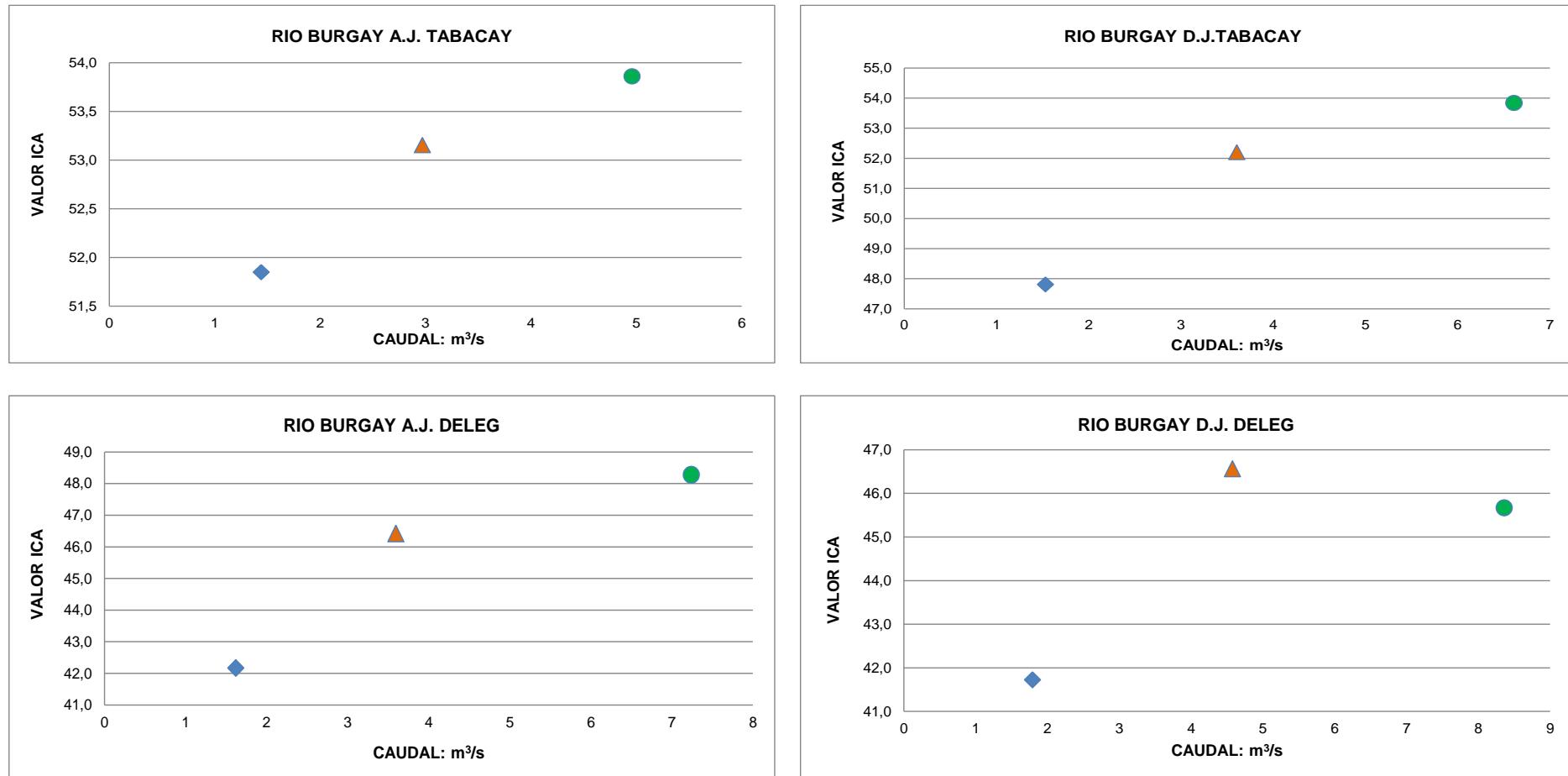


Figura 4.2: Comparación de ICA (mediana), vs Caudal por estación

El valor más alto para ICA se registra así: en caudal medio, en cuatro estaciones; en caudal alto, en tres; y en caudal bajo, sólo en la estación Cachihuayco, y esto debido a que en tiempo seco, no hay arrastre de los nutrientes por escorrentía, lo que permite a esta estación conservar su calidad.

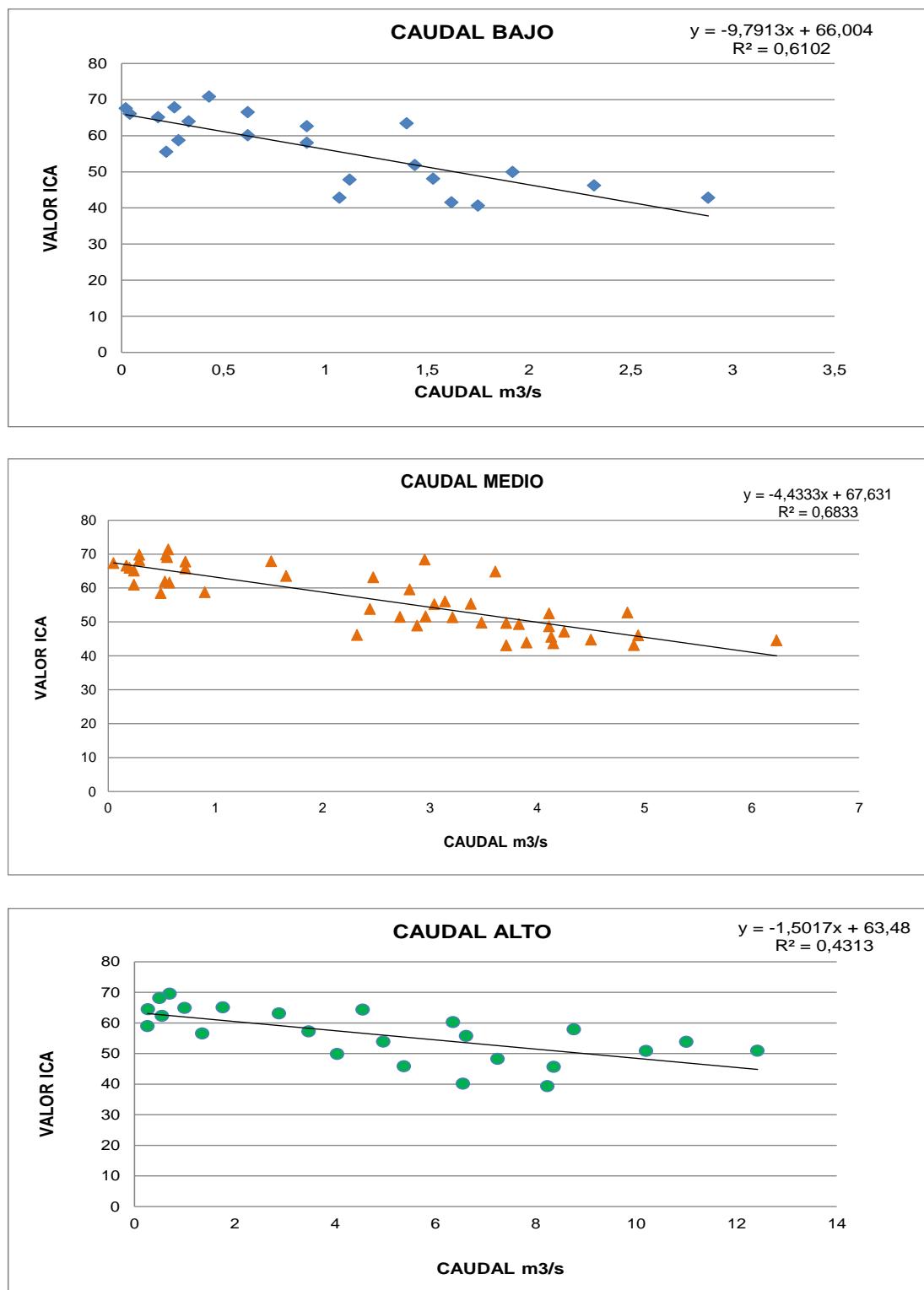


Figura 4.3: Variación espacial de la calidad según el caudal

El ICA disminuye a medida que avanza el curso del río; pero el descenso de la calidad es mayor en caudal bajo (mayor valor de la pendiente).

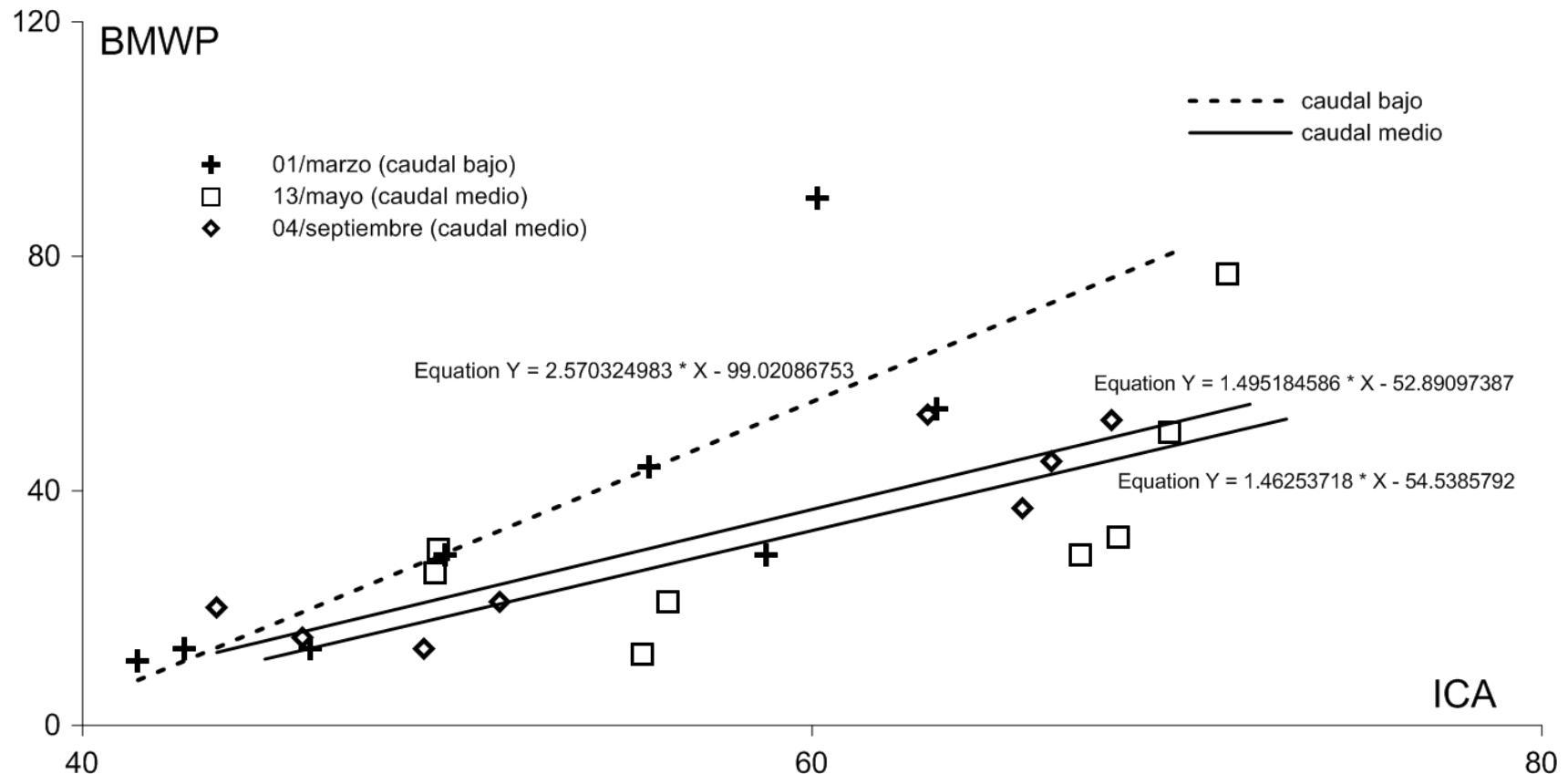


Figura 4.4: Relación BMWP – ICA en diferentes caudales

Hay una correlación positiva entre los índice ICA y BMWP en los tres muestreos. La influencia del caudal es apreciable; para un mismo valor de ICA, el índice BMWP disminuye al aumentar el caudal.

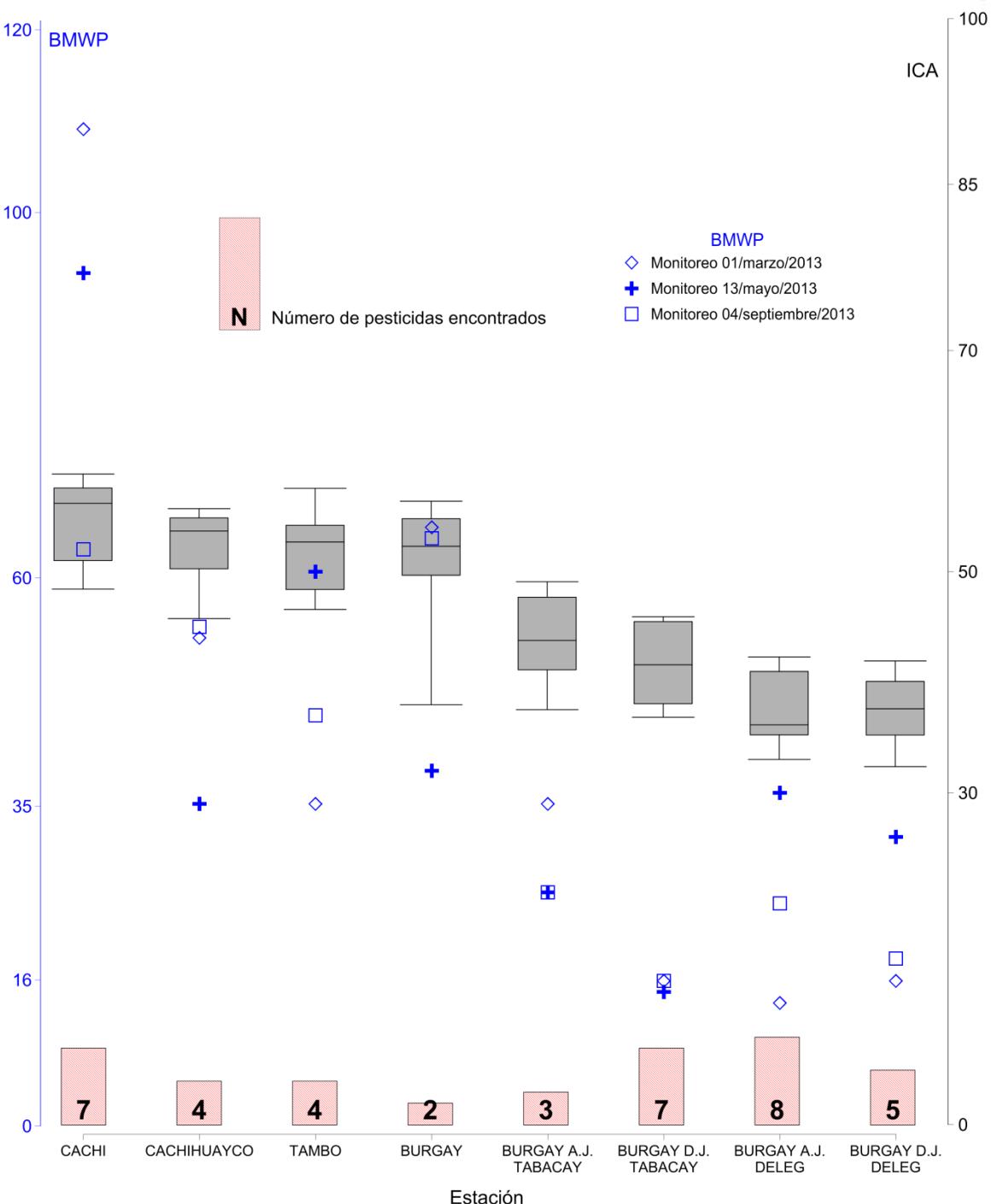
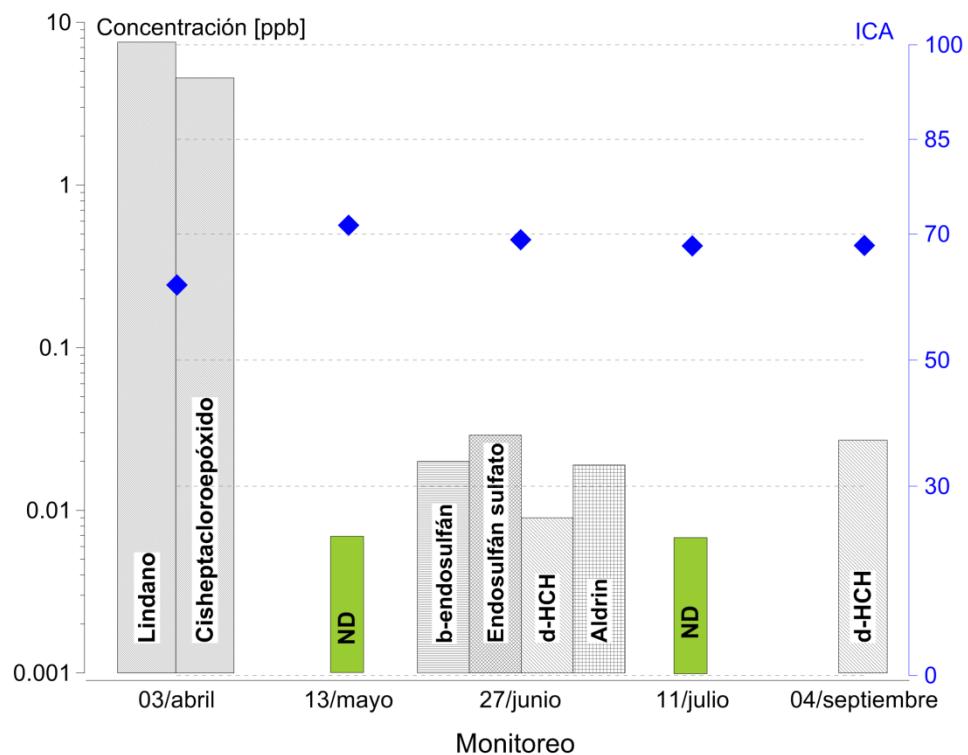
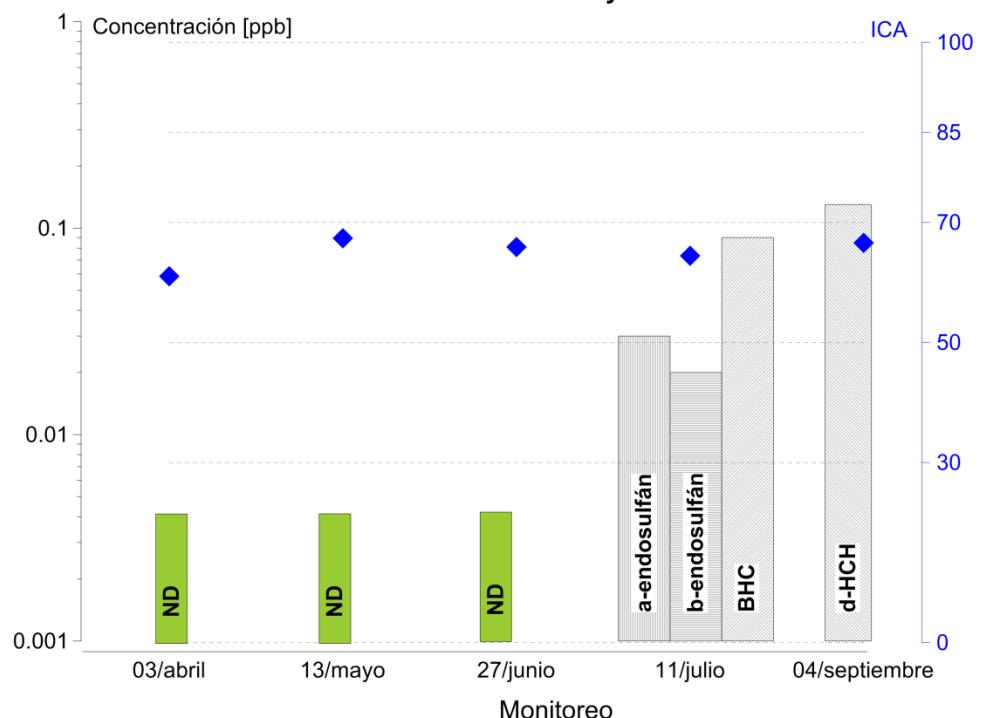


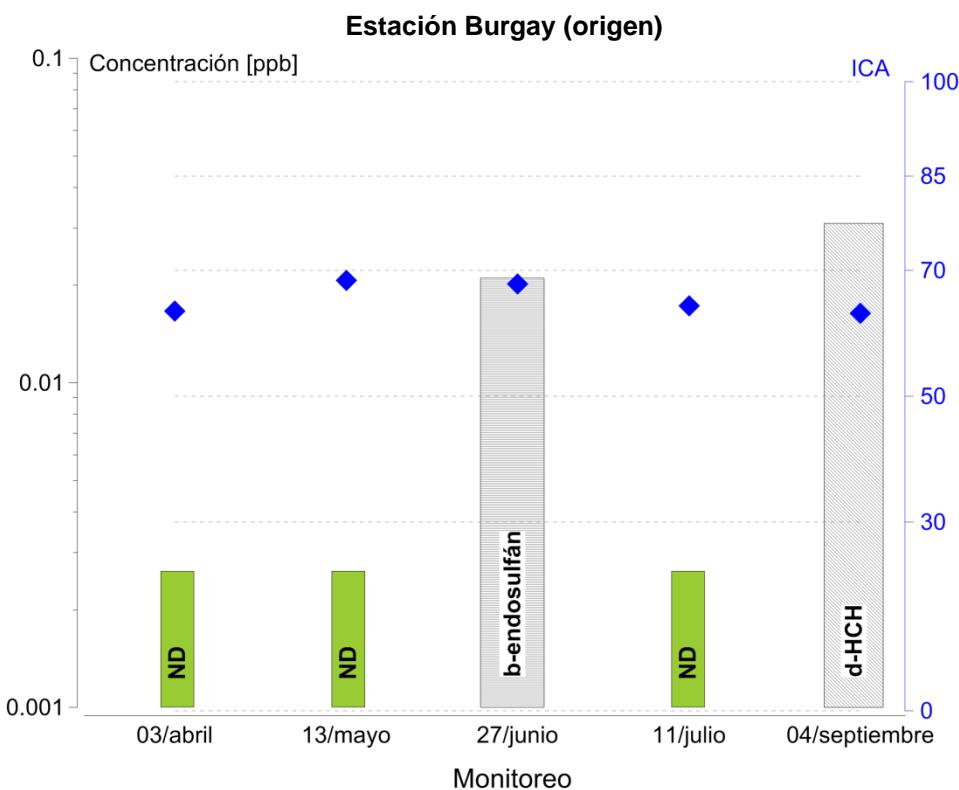
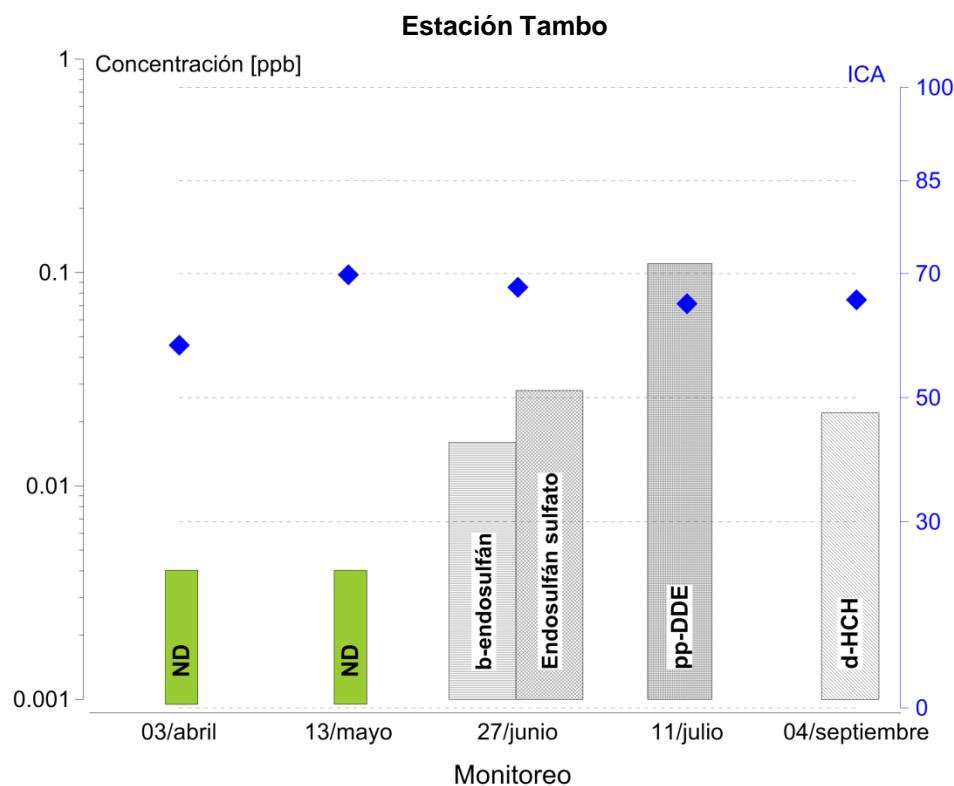
Figura 4.5: Box plots del ICA por estación y BMWP por monitoreo y por estación

En todas las estaciones, los datos del ICA varían dentro de un rango estrecho; es decir los valores son concurrentes en torno a una mediana, excepto en la estación Burgay, en donde se produce mayor variabilidad.

La relación del ICA, con el BMWP es directa, a medida que disminuye el ICA, también el BWP.

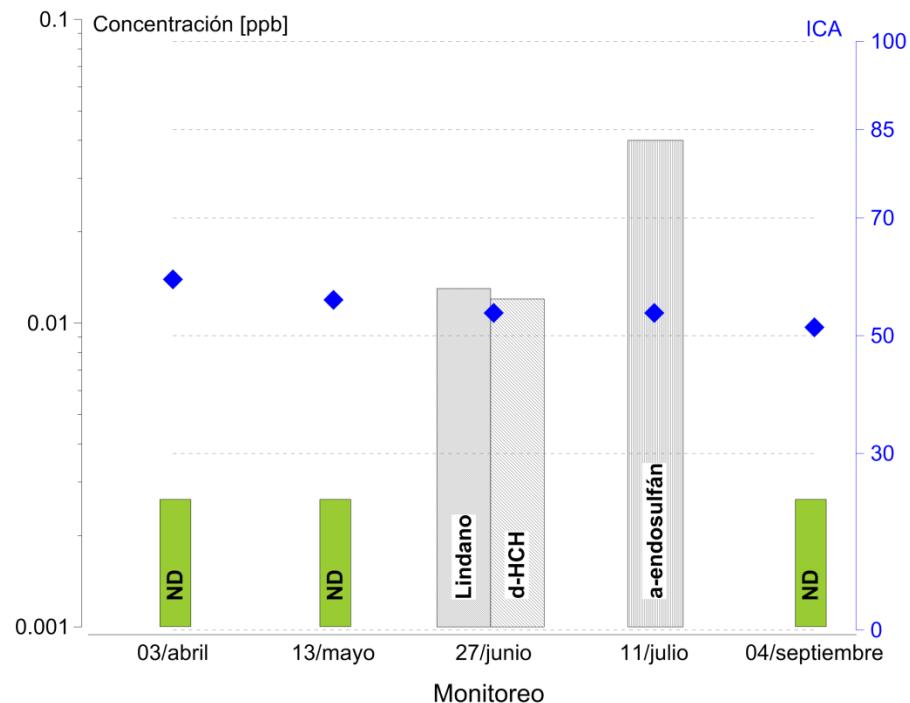
El número de plaguicidas por estación, no tiene relación con los índices ICA y BMWP.

**Estación Cachi****Estación Cachihuayco**

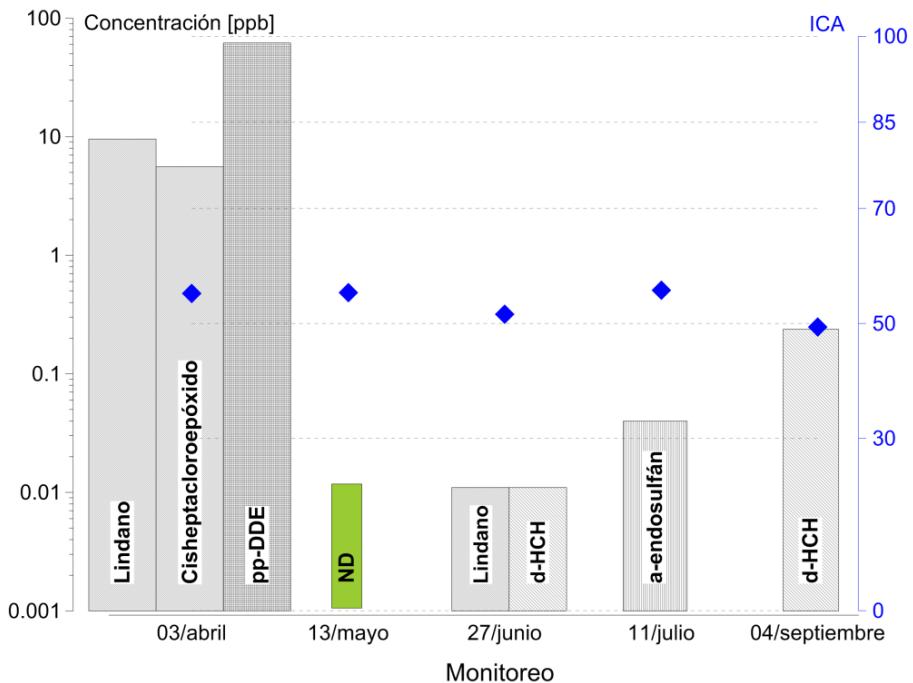




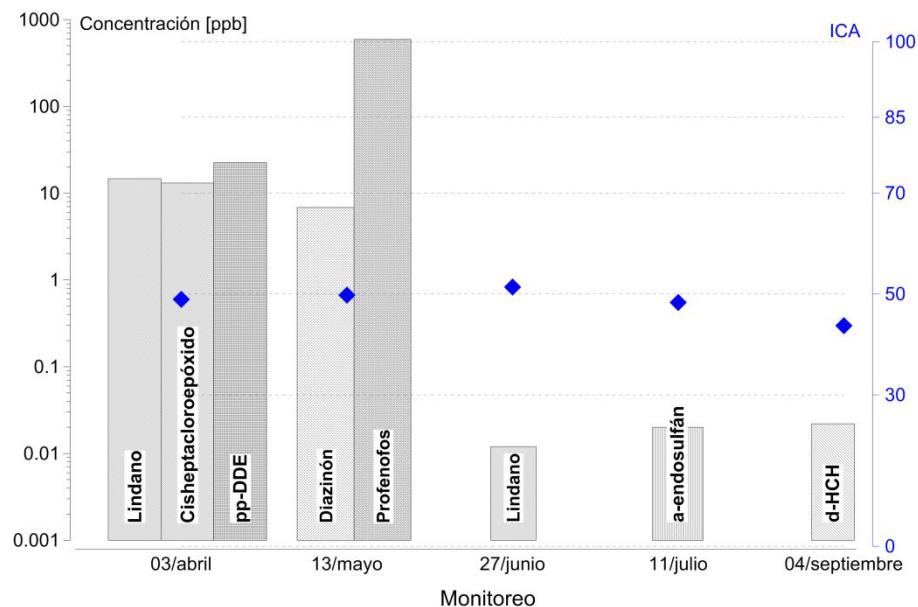
### Estación Burgay A.J. Tabacay



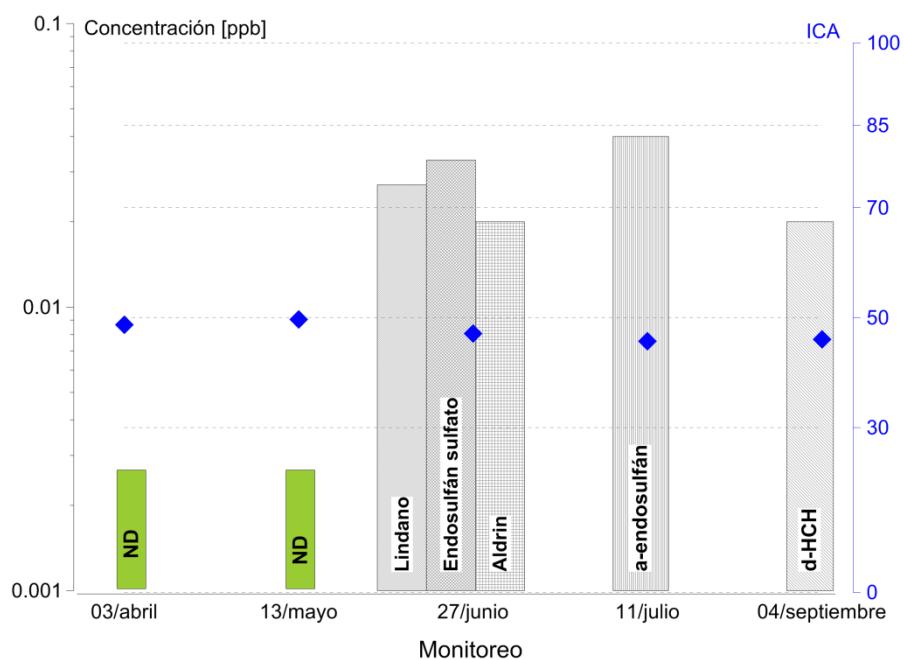
### Estación Burgay D.J. Tabacay



### Estación Burgay A.J. Déleg



### Estación Burgay DJ. Déleg



**Figura 4.6: Relación de las concentraciones de plaguicidas por estación y por monitoreo vs ICA**

Todas las estaciones presentan plaguicidas, al menos una vez; pero las estaciones Cachi y Burgay AJ Déleg, son las más afectadas. La presencia de plaguicidas no influye en el valor del ICA; en Cachi, el ICA la cataloga como “aceptable”, en algunos de los muestreos, pero supera los límites permitidos para plaguicidas.

Tabla 4.11: Recuperación de la calidad del agua eliminando los nutrientes

CLAVE	LUGAR	RECUPERACION DE LA CALIDAD DEL AGUA CON UN CONTENIDO PERMITIDO DE NUTRIENTES											
		MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5	MUESTREO 6	MUESTREO 7	MUESTREO 8	MUESTREO 9	MUESTREO 10	MUESTREO 11	MUESTREO 12
1	RIO CACHI	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE								
A	RIO CACHIHAYCO	-----	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE
B	RIO TAMBO	-----	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE
2	BURGAY ORIGEN	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	ACEPTABLE	ACEPTABLE
3	BURGAY A.J. TABACAY	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO
4	BURGAY D.J. TABACAY	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO
5	BURGAY A.J. DELEG	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	-----	POCO CONTAMINADO							
6	BURGAY D.J. DELEG	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	-----	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO

--- No pudo captarse la muestra.

---- Presencia de Toxicidad

Calidad del cuerpo receptor, si los nutrientes se encontraran dentro de los valores permitidos para un ICA de 100.



## 4.5 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONTROL

En el presente estudio, las causas del deterioro en la calidad del agua, y del riesgo toxicológico evaluado, se identifican así: a) la actividad agrícola; b) la descarga de aguas residuales domésticas no tratadas, y c) y factores naturales como los erosivos, procedentes de la microcuenca del Tabacay.

La participación de la agricultura como la principal causa de contaminación “no localizada”, es reconocida por los organismos competentes desde hace mucho tiempo; la necesidad acuciante de producir alimentos en cantidad suficiente ha repercutido en las prácticas agrícolas de todo el mundo. En muchos países, esta presión ha originado una expansión hacia tierras marginales y normalmente está asociada a la agricultura de subsistencia. En otros, la necesidad de alimentos ha llevado a la expansión del riego y a una utilización cada vez mayor de fertilizantes y plaguicidas, con el fin de lograr y mantener rendimientos superiores.

Las descargas de aguas residuales no tratadas, constituyen “fuentes localizadas” de contaminación y controlables de alguna manera; y los fenómenos erosivos naturales, son controlables parcialmente.

Se sugieren las siguientes alternativas para la inspección de la contaminación, y válidas únicamente a nivel conceptual, dentro del alcance del presente estudio.

### 4.5.1 Control de los usos del suelo

La planificación a través de ordenanzas, establece un uso estricto del suelo; una correcta localización de los proyectos y un riguroso control del uso del suelo, son el punto de partida para la integración ambiental de las actividades.



#### 4.5.2 Aplicación de buenas prácticas agrícolas

- a) Utilización de canales de riego con revestimiento.
- b) Evitar el monocultivo extenso, y la utilización excesiva de fertilizantes y plaguicidas persistentes.
- c) El aprovechamiento de las aguas residuales, fangos, abonos orgánicos, etc., mediante su aplicación, se adoptará teniendo en cuenta los conocimientos generales sobre los efectos conocidos y las medidas más eficaces para mitigarlos o reducirlos. Se ha encontrado que la agricultura orgánica es tan contaminante como la convencional, en términos de la contaminación por nitratos, y en algunos casos inclusive mayor, debido a la gran cantidad de estiércol aplicado al suelo.

Estas decisiones deben inspirarse en las prácticas más adecuadas de ordenación que permitan las circunstancias locales, y el objetivo debe ser multiplicar la rentabilidad económica de los agricultores, sin olvidar la protección del medio ambiente.

La OMS-FAO, propone un esquema para el proceso de toma de decisiones relativo al problema de la agricultura, enfocándolo a nivel local, y a nivel de cuenca hidrográfica. Para su revisión se sugiere la siguiente referencia:

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm#TopOfPage>

#### 4.5.3 Técnicas de Fumigación

Para evitar la pérdida de sus principios activos, y por tanto un uso excesivo de plaguicida, la solución acuosa empleada en la fumigación, requiere un pH que oscile entre 5 y 7,2; y la dureza inferior a 150 mg/l, como CaCO<sub>3</sub>; varios estudios



confirman estas condiciones para evitar la hidrólisis y por lo tanto conseguir una mayor eficiencia de los agroquímicos (Coronado, O., 2008).

Es necesario el uso de equipos de pulverización controlados por computador.

#### **4.5.4 Alternativas para tratamiento de aguas residuales domésticas**

A nivel urbano, los mecanismos más empleados hoy en día constituyen, el sistema de lodos activados, y en menor uso las lagunas de estabilización; no obstante la disponibilidad de terreno, constituye un limitante que deberá ser analizado.

Como alternativas a nivel rural se mencionan, el tratamiento de aguas por filtros de suelos, es decir la biosorción y también la fitorremediación, las que deberán ser analizadas en cada caso.

Una técnica propuesta, para el tratamiento de aguas residuales, con elevadas concentraciones de plaguicidas, es la fotocatálisis o proceso de oxidación avanzada POA; son procesos de fotooxidación, que permiten la mineralización total de los contaminantes, mediante la aplicación de radiación ultravioleta (Garcés, Mejía, & Santamaría, 2006).

#### **4.5.5 Para la remoción de plaguicidas en los sistemas de abastecimiento**

A fin de garantizar el cumplimiento de la normativa INEN 1108 (Quinta revisión, 2014), se puede usar un sistema de filtración a través de carbón activado, material adsorbente que se utiliza en el tratamiento del agua para extraer contaminantes orgánicos como los plaguicidas. Otra alternativa, quizá más costosa pero efectiva es el uso de membranas de ósmosis inversa; este mecanismo retira materiales orgánicos, bacterias y virus.



#### **4.5.6 Mecanismos de restricción para la adquisición de plaguicidas**

Las entidades que tienen bajo su competencia el manejo y el control de estas sustancias, deberán restringir su adquisición, mediante mecanismos pertinentes. Los plaguicidas órgano clorados están prohibidos en el Ecuador, no obstante se detectan en casi todos los muestreos realizados; el control deberá ejercerse a todo nivel, desde las grandes empresas importadoras, distribuidoras, reenvasadoras, hasta proveedores a menor escala, asignándoles a cada una de ellas, alguna responsabilidad en la distribución y utilización inocua y eficiente.

El registro de la cantidad de plaguicidas usados en la zona, es importante. Un dato referencial indica que en el Ecuador se usan aproximadamente 16,5 kg de plaguicidas/ha. cultivable, comparado con 51,2 Kg/ha, en Costa Rica, uno de los mayores consumidores de agroquímicos (García & Rodríguez, Problemática y Riesgo Ambiental por el Uso de Plaguicidas en Sinaloa, 2012).

#### **4.5.7 Para el control de los procesos erosivos**

Se recomienda revisar el “Plan de Manejo de la microcuenca del río Tabacay”, realizado en el año 2003, (PROMAS- Universidad de Cuenca); cuyo objetivo fundamental fue precautelar la disponibilidad de la calidad y cantidad presente y futura del agua en la microcuenca, 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.

#### **4.5.8 Disposiciones legales**

La prohibición del uso de plaguicidas en zonas cercanas a las fuentes de agua, embalses, zonas protegidas, y ríos.



#### **4.5.9 Educación ambiental**

El reconocimiento de un río como un ecosistema es necesario para la preservación del recurso; si se consideran los usos más delicados como el riego (con fuerte repercusión en la seguridad alimentaria), y el abastecimiento o consumo humano, debe tenerse presente siempre que “mientras más limpia sea el agua de la fuente de abastecimiento (agua cruda), más barata será el agua tratada y más sana para beber”. Este será el concepto a impartirse para generar conciencia a todo nivel.

### **4.6 DIFUSION DE RESULTADOS**

Se propone el siguiente plan de Difusión de Resultados, mediante charlas informativas, exposiciones orales, etc., a las siguientes entidades:

Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Azogues (EMAPAL EP)

Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD)

Secretaría Nacional del Agua. (SENAGUA. Cuenca Hidrográfica del Santiago)



## CAPITULO V: DISCUSIÓN

En esta evaluación hay una subcuenca, un río que la drena, y estaciones de monitoreo, en las cuales se dispone de la siguiente información: caudales, valores de índice ICA, valores del índice BMWP, y algunos plaguicidas identificados.

### 5.1 EN CUANTO AL CAUDAL

A medida que avanza el río en su curso, se incrementan los caudales por el aporte de sus tributarios; pero en algunos muestreos se observó que en el tramo Burgay DJ.Tabacay - Burgay AJ Déleg, el caudal disminuyó; lo que significa que hay extracción de agua en este intervalo, aspecto de interés para conocer los usos asignados al recurso, sobre todo en período de estiaje.

El monitoreo del 7 de noviembre registra los caudales más bajos ( $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ); y el 13 de junio, los más altos ( $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $12,42 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Del Anexo 1, se observa que las precipitaciones se producen de junio a octubre; y el período de estiaje de noviembre a mayo.

### 5.2 EN CUANTO AL INDICE ICA

Se realizaron doce campañas de muestreo: tres en caudal alto, seis en medio, y tres en bajo, y se observó que el ICA presenta una variación temporal y espacial.

#### 5.2.1 Variación Temporal

La figura 4.1 muestra que dentro de cada estación la calidad presenta variación dependiendo del caudal; y en la figura 4.2 al graficar las medianas de los valores de ICA, en caudal bajo, medio y alto, se observa que la tendencia de la calidad, no es la misma en todas las estaciones; no obstante en cuatro de ellas, el ICA es mayor en caudal medio; en otras tres, en caudal alto, y sólo la estación Cachihuayco, presenta



ICA mayor en caudal bajo, esto debido a que en tiempo seco no hay arrastre de nutrientes sobre todo de fósforo, lo que significa que éstos compuestos constituyen la principal fuente de contaminación en esta estación y por lo tanto en todo el río.

Posiblemente hagan falta un mayor número de datos, para confirmar la tendencia de la calidad en cada estación.

La mayor variabilidad se presenta en la estación Burgay (origen), con un ICA mínimo de 46,12 y un máximo de 68,39 aspecto importante para los usos del recurso, sobre todo para abastecimiento, lo que implica mayores controles en el tratamiento; por ejemplo dosis de coagulante, dosis de desinfectante, tiempos de flocculación, etc.

### 5.2.2 Variación espacial

La mayor variación del ICA se produce en su recorrido espacial; a medida que la masa de agua se desplaza entre estaciones, hay una pérdida progresiva de la calidad, y que puede resumirse así:

**Los nutrientes.** El mayor aporte de fosfatos, constituye el río Cachihuayco que proviene de una zona agrícola, registra un máximo de 6,22 mg/l, y en caudal alto; los nitratos son aportados por los ríos Cachihuayco y Tambo; el máximo valor se registra para Cachihuayco con 1,17 mg/l y en caudal bajo; pero progresivamente los nitratos se incrementan en todo el curso del río y a medida que reciben los aportes de los otros afluentes, Cashicay, Tabacay y Déleg, debido a que la nitrificación se va acentuando en presencia de oxígeno.

El nitrógeno amoniacal también se incrementa progresivamente, como resultado de la descomposición de la materia orgánica por reacciones de desaminación, alcanzando un máximo de 2,47 mg/l, en la estación Burgay AJ Déleg; si la



contaminación en la corriente disminuyera, su concentración tendería al descenso, transformándose en nitrato por oxidación; pero esta no es la condición observada.

En conclusión: el mayor arrastre de fosfatos se da en caudal alto; los nitratos se concentran en caudal bajo, y la desaminación es mayor, en caudal medio.

En siete muestreos de los doce realizados, los fosfatos disminuyen en el tramo AJ Tabacay - DJ Tabacay; por lo que el río Tabacay no aporta fosfatos.

**Sólidos suspendidos y turbiedad.** Los máximos valores registrados son: 842 mg/l, y 569 NTU, ambos en caudal medio, y en el mismo monitoreo, el cual quizá ocurrió después de un período de lluvia; pero generalmente, los valores más altos de estos dos parámetros se producen en caudal alto, debido al arrastre de partículas por erosión; en tiempo seco, disminuye el arrastre de sólidos y la capacidad de dilución de la corriente, por lo que la turbiedad y los sólidos suspendidos, son debidos a las descargas de aguas residuales domésticas, y de naturaleza orgánica; finalmente en caudal medio se registran los valores más bajos, que es la condición que prevalece la mayor parte del año.

Los mayores aportes provienen de los ríos Cachihuayco, Tabacay, y en menor proporción del río Déleg.

**Conductividad y sólidos disueltos.** La conductividad registra un mínimo de 76,5 uS/cm, en caudal medio, y un máximo de 648 uS/cm, en caudal bajo; y los sólidos, un mínimo de 10 mg/l, en caudal alto; y un máximo de 401mg/l, en bajo.



En general la solución se diluye en período lluvioso y se concentra en tiempo seco; se observa la misma tendencia para los principales sólidos disueltos, como alcalinidad, dureza y cloruros.

La relación, entre los valores máximos de conductividad y sólidos disueltos, es muy cercana a la establecida por la teoría: “aproximadamente el 66% de la conductividad es debida a sólidos disueltos”; ( $648 * 0.66 \approx 401$ ).

Los aportes se dan en todo el curso del río.

**La DBO5.** El máximo valor es de 46,3 mg/l, en caudal bajo, y el mínimo de 0,06 mg/l en caudal medio; significa que la máxima polución orgánica se da en estiaje, cuando disminuye la capacidad de autodepuración de la corriente, acompañada también en general de niveles más bajos de oxígeno.

Las aguas residuales domésticas de pequeños centros poblados, comunidades y de las poblaciones mayores de Nazón, Biblián, Azogues, y las parroquias Javier Loyola, Borrero, que descargan directamente en el río Burgay, incrementan la carga orgánica.

**El pH.** El valor más alto se produce en caudal bajo, con un máximo de 8,86 en Burgay DJ. Tabacay, condición que favorece la actividad tóxica de los plaguicidas. El mínimo es de 6,51 en la estación Cachi, por lo que el agua en esta estación tiende a ser coloreada, debida a la presencia de sustancias húmicas.

En todos los muestreos, en el tramo AJ Tabacay – DJ Tabacay, hay incremento en el pH; significa que este río aporta sustancias alcalinas tipo argilitas y lutitas propias de la formación Yunguilla de la cual procede.



**El oxígeno disuelto.** La máxima concentración es de 8,99 mg/l y la mínima de 4,54 mg/l. En general a medida que avanza el curso del río, disminuye la concentración de oxígeno, por los aportes continuos de materia orgánica, alcanzando niveles que ya representan un riesgo para la integridad del ecosistema, sobre todo en las dos últimas estaciones. Así lo confirman los ensayos biológicos; los valores más bajos del índice BMWP, se registran generalmente en este tramo.

**Los coliformes.** Se registra un valor máximo de 9,2E+7 NMP/100 ml, en DJ Tabacay y en caudal bajo; esta condición si es crítica, son niveles cercanos a la del agua residual cruda; en general en toda la corriente, los coliformes constituyen el parámetro sanitario que debe ser atendido con urgencia, por su significado en la salud pública.

**Temperatura.** Los promedios de la temperatura en la estación final DJ. Déleg, asignan un valor de 19,5°C., en caudal bajo; 17,1°C., en caudal medio; y 16,43°C., en caudal alto, variación que tiene influencia en la concentración de oxígeno disuelto.

Por lo visto, todos los parámetros se modifican con el caudal, influyendo en el valor final del ICA.

En todos los monitoreos se observó una significativa variación espacial de la calidad, pero la disminución del ICA es mayor en estiaje; la Figura 4.3 muestra la mayor pendiente para la recta en caudal bajo; este aspecto es importante en los usos asignados al recurso en tiempo seco, sobre todo si es el destinado a consumo humano, requiriéndose mayores controles, para garantizar una potabilización segura.



Los ICA máximos y mínimos registrados por caudales se presentan en la Tabla 5.1

CAUDAL	BAJO	MEDIO	ALTO
ICA máximo	70.79	71.37	69.57
ICA mínimo	40.65	43.10	39.34

Tabla 5.1: Valores máximos y mínimos de ICA respecto al caudal.

Como conclusión, el cuerpo receptor presenta una calidad superior en caudal medio, que es la condición climatológica, que ha prevalecido durante el período de evaluación.

### 5.3 EN CUANTO A LOS INDICES BIOLOGICOS: BMWP, QBR, RIQUEZA DE FAMILIAS

#### 5.3.1 El Indice BMWP

Se realizaron tres campañas de muestreo: uno en caudal bajo, y dos en medio; de la Tabla 4.7 se observa que la calidad biológica disminuye a medida que avanza el curso del río; desaparecen especies sensibles y el valor del índice desciende progresivamente.

Dos observaciones son importantes:

- a) Las estaciones Cachihuayco y Tambo, están catalogadas como “crítica”, al menos una vez; puede suponerse una relación entre calidad biológica y el uso del suelo; los dos ríos receptan los efluentes de las florícolas ubicadas en esta zona.
- b) Cuando aumenta el caudal de la corriente, la fauna bentónica es arrastrada, y se establece en otros sitios, donde encuentre sustratos disponibles para su desarrollo; esta es la razón del incremento del índice en la estación Burgay AJ Déleg, en los dos muestreos realizados en caudal medio. (30 y 20 respectivamente).



### 5.3.2 El índice QBR

Desciende al igual que el índice BMWP, demostrándose la influencia de la calidad de la ribera, con el patrón de distribución de las especies bentónicas; hay una relación directa entre los dos índices biológicos, como se observa en la Tabla 4.7.

### 5.3.3 La riqueza de familias

En la Tabla 4.7 se observa también la concomitancia de la riqueza de familias, con el valor del índice BMWP.

## 5.4 RELACION: ICA-BMWP

Se demuestra una correlación positiva entre los índices ICA y BMWP en los tres monitoreos, confirmando que los organismos acuáticos dependen de un entorno físico-químico (Figura 4.4); se muestra también que para un mismo valor de ICA, el índice BMWP disminuye al aumentar el caudal.

En la Tabla 4.10 se observa, que para un mismo rango de ICA, el índice BMWP establece diferencias en la calidad; por ejemplo, las estaciones Burgay (origen) y Burgay AJ Tabacay catalogadas como “poco contaminadas”, distan biológicamente; a la primera le corresponde un criterio de “dudosa-crítica”, y a la segunda de “crítica”, diferencias que no se hubieran evidenciado a través del ICA.

En el recorrido espacial que hace el agua, y analizando los valores promedios del ICA por estación (Figura 4.5), se nota, que el mayor deterioro se produce entre las estaciones Burgay (origen) y Burgay AJ Tabacay, con pérdida promedio de 9 puntos de calidad; aspecto importante para introducir las medidas correctivas necesarias. (río Cashicay principal afluente en el tramo, y aguas residuales domésticas procedentes de las poblaciones de Biblián, Nazón, Aguilán, y otras menores). En la



misma figura se observa también, que todas las estaciones presentan una reducida variabilidad en su calidad, aspecto importante cuando el recurso es utilizado como abastecimiento; se considera “fuente ideal”, a aquella que tenga un caudal suficiente para satisfacer las máximas demandas, incluso en períodos de sequía y que presente una calidad uniforme.

## 5.5 EN CUANTO A LOS PLAGUICIDAS

Se realizaron cinco campañas de muestreo: cuatro en caudal medio y una en alto, (ver Tabla 4.8); los plaguicidas detectados pertenecen a los dos grupos: OC y OF, y la Normativa de referencia para la evaluación, es el TULAS: “cuerpos receptores destinados a consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren desinfección”: 10 ppb para plaguicidas órgano clorados , y 100 ppb para plaguicidas órgano fosforados.

En el primer muestreo, se identifican tres plaguicidas: DDE (metabolito del DDT), lindano, y cisheptacloro epóxido, todos OC; las estaciones Cachi, Burgay DJ Tabacay, y Burgay AJ Déleg, superaron los valores de la Normativa.

En el segundo muestreo, se identifican dos: diazinón y profenofos, ambos OF, en una sola estación: Burgay AJ Déleg, y los valores superan la Normativa.

Los siguientes muestreos registran los anteriores y nuevos plaguicidas: a-endosulfán, b-endosulfán, endosulfán-sulfato, d-HCH (delta hexacloro hexano), aldrín, y BHC (hexaclorobenceno), todos OC., pero sus concentraciones no superan las referenciales.

### 5.5.1 Observaciones

- Todas las estaciones presentan plaguicidas al menos una vez.



- b) Se demuestra que los plaguicidas se trasladan con la masa de agua; y en su traslado pueden experimentar descomposición por fotólisis e hidrólisis, pero el tiempo de paso entre las estaciones es muy pequeño comparado con los tiempos medios requeridos para estos procesos; por lo que en general, las concentraciones se mantienen en el curso.
- c) No existe relación entre la concentración de plaguicidas y el caudal de la corriente. Los muestreos que superaron la norma, sucedieron en caudal medio; en caudal alto quizá se produce un efecto de dilución, lo que se observa en el cuarto muestreo; y en caudal bajo posiblemente se produzca un efecto de concentración, información que no pudo obtenerse en el presente estudio.
- d) Los plaguicidas estarán presentes en el río como resultado de aplicaciones directas en las zonas de cultivo; o son residuales provenientes de otros lugares, pero debido a la persistencia de estos compuestos, permanecerán en el cuerpo receptor, por mucho tiempo.
- e) En algunas estaciones los plaguicidas superan los valores de norma, aunque su ICA no restrinja los usos; por ejemplo, la estación Cachi en uno de los muestreos registra una concentración total de plaguicidas OC. de 12,1 ppb, y su ICA es de 61,9 “poco contaminado” (ver Tabla 4.10)
- f) Los macroinvertebrados, no son sensibles a bajas concentraciones de plaguicidas; la estación Burgay AJ Déleg, es la única que registra plaguicidas en todos los muestreos, (ver Tabla 4.8), no obstante el índice BMWP, no es el más bajo, registra valores de 30 y 20 en dos muestreos de los tres realizados



(ver Tabla 4.7). Este aspecto es un limitante científicamente reconocido, para estos bioindicadores.

- g) El TULAS no establece valores máximos permitidos para los plaguicidas en forma individual; no obstante la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: 2014, fija límites máximos para 19 plaguicidas en agua destinada a consumo humano, y que deberán cumplir todas las empresas encargadas de la dotación de los servicios.

### **5.5.2 Propiedades físico-químicas de los plaguicidas, importantes en su dinámica ambiental**

- a) **Solubilidad en el agua.** Casi todos los plaguicidas detectados son OC, con una solubilidad menor a 25 ppm.; tienden a inmovilizarse en los suelos y a concentrarse en los seres vivos; sólo dos son OP, con una solubilidad acuosa mayor a 25 ppm., lo que significa que no son persistentes en los organismos vivos; persisten más en fase acuosa, condición indeseable para el abastecimiento humano.
- b) **Densidad.** Al ser más densos que el agua, tenderán a depositarse en los sedimentos, en tiempos más o menos largos dependiendo de su capacidad de adsorción.
- c) **Presión de vapor.** Los volátiles tienen más movilidad y se dispersan hacia la atmósfera, por lo que coexisten en fase acuosa y gaseosa; los no volátiles son más persistentes en suelos y agua (DDE y b-Endosulfán); por esta razón el DDE persiste en la corriente, mucho tiempo después de haberse aplicado.



- d) **Coeficiente de partición octanol/agua: (Kow).** Informa sobre la solubilidad y la distribución de una sustancia en un organismo vivo; los plaguicidas con elevado Kow, son muy liposolubles, y se puede deducir que se absorben fácilmente a través de las membranas biológicas acumulándose en el tejido graso. Todos los plaguicidas detectados tienen este comportamiento, excepto el profenofos.
- e) **Coeficiente de adsorción en materia orgánica: (Koc).** La mayoría son “no móviles”; tenderán a acumularse en los sedimentos; por lo que no permanecerán mucho tiempo en el agua.
- f) **Tiempos de vida media: ( $t_{1/2}$ ).** Los más altos son para el lindano, diazinón y aldrín; el diazinón y el lindano, presentan concentraciones por encima de las permitidas, por lo que si sólo se espera su degradación ambiental, para conseguir niveles deseables en el agua, se requieren tiempos muy largos, con lo que la posibilidad de encontrarse en el agua de consumo no tratada, es alta, aumentando el riesgo.
- g) **Clasificación IARC.** Todos están catalogados como 1B y 2A; por lo que son probablemente cancerígenos.
- h) **Todos son peligrosos** por su toxicidad en diferentes niveles.

**Conclusión.** Por sus propiedades (Anexo 8), se puede inferir que estos plaguicidas tienden a sedimentarse y adsorberse en sustratos (no móviles), y seguramente estarán en el lecho del río en concentraciones mayores a las detectadas en el agua, afectando fuertemente al ecosistema. Son estables, con gran capacidad de biomagnificación y bioconcentración; muy solubles en materia orgánica; es decir, presentan condiciones ideales para depositarse en los sedimentos del lecho y no circular en la corriente; no obstante, el tiempo que



permanecen en ella, es suficiente para ser consumidos en los distintos usos: riego, recreativo, el abastecimiento público, etc.

### 5.5.3 Algunas cuestiones sobre los plaguicidas que superaron la normativa

#### TULAS

- a) El p-p DDE, es un metabolito producto de la lenta descomposición de su precursor el DDT; las concentraciones de p-p DDE halladas significa que su precursor fue adicionado en otros sitios, muy lejanos al punto de recolección de las muestras, por lo que el control en su uso, tendría poco efecto. Adicionalmente, los metabolitos son más nocivos que su precursor. Las concentraciones detectadas para el pp-DDE durante el período de evaluación van de 0,11 a 61,68 ppb., y se encuentra en dos de los cinco muestreos realizados. La normativa INEN referida, fija un valor máximo permitido de 1 ppb, para el DDT y sus metabolitos.
- b) El cis-heptacloroepóxido, es otro producto de descomposición y más nocivo que su precursor, el heptacloro, con períodos de vida media larga de 7 a 12 años; fue adicionado en un lugar muy lejano al sitio de recolección de la muestra; los niveles detectados varían de 4,55 a 13,10 ppb.; aparece en un solo muestreo. La EPA, fija una concentración máxima para agua potable de 0,2 ppb.
- c) El Lindano, químicamente es el gama hexacloro ciclo hexano, y su presencia puede indicar una reciente aplicación; sus concentraciones varían de 0,013 a 14,72 ppb; se identifica en dos de los cinco muestreos realizados; la norma INEN fija una concentración máxima permitida de 2 ppb.; en tanto la EPA, un valor de 0,2 ppb. para el mismo fin.



- d) Diazinón y profenofos, son plaguicidas OP; su presencia puede deberse a una reciente aplicación, son empleados en actividades de jardinería, son poco solubles en agua; aparecen en un solo muestreo, en concentraciones de 6,85 ppb para diazinón y 592,2 ppb para profenofos. La normativa INEN no determina valores referenciales para estos dos compuestos.
- e) Los demás plaguicidas detectados, en conjunto presentan concentraciones menores a las permitidas, no obstante su presencia ya indica alguna alteración en el ecosistema.

#### **5.5.4 En cuanto al riesgo toxicológico**

- a) Como se mencionó, en todos los muestreos se detectan plaguicidas; dada la naturaleza de estas sustancias, y considerando el uso más delicado que es el “consumo humano”, existe un riesgo permanente en la fuente.
- b) Los plaguicidas OC encontrados son usados en cultivos comunes de: papas, maíz, coles, lechugas, y otros; y dada la circunstancia de que estos productos estarán presentes durante todo el año, es decir ya no son exclusivos de la época (período estacional), porque con las técnicas de riego, los productos fitosanitarios, abonos químicos y otras alternativas, es posible estimular la tierra y generar todo el tiempo todo producto, significa también que “todo el año los plaguicidas estarán presentes”.
- c) Con este antecedente, se considera necesario “despertar una preocupación”, mediante el cálculo matemático del llamado “riesgo toxicológico”, a través de una metodología diseñada por organismos competentes (OMS-OPS), que pone en evidencia a la luz de los conocimientos actuales, la peligrosidad de estas sustancias; no son contaminantes comunes, están catalogados como



“prioritarios” (capacidad de producir tumores, teratogénicos, mutanogénicos, etc.) y “refractarios” (no son removidos por tratamientos convencionales); entonces existe un riesgo para la población que consumiría el recurso sin tratamiento específico.

- d) Los cálculos efectuados en las estaciones que superaron los valores de normativa, constituyen una predicción de lo que ocurriría, si la población consumiera el agua sin tratamiento previo, por 25 años, durante 70 que es su expectativa de vida, situación que podría estar ocurriendo en algunas poblaciones.
- e) El análisis del riesgo toxicológico para las estaciones que superaron las normativas, y cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.9, pueden interpretarse así:

El riesgo para efectos no cancerígenos es “aceptable”, ( $IP < 1$ ;  $ME > 1$ ).

El incremento de la probabilidad de que se produzca cáncer por exposición oral a plaguicidas, es mayor al riesgo tolerable, ya que la dosis de plaguicida suministrada en el sitio, es mayor que la dosis permitida para ingesta en agua, con un nivel del riesgo de cáncer de 1 en un millón. (riesgo tolerable).

- f) Un estudio de “Evaluación de riesgo” detallado y más profundo, implica un mayor número de muestras, durante un mayor período, a través de modelos matemáticos que consideren otras variables, como la vulnerabilidad de la población, las condiciones meteorológicas, y otras circunstancias; estudio difícil de realizarlo y además costoso. Sin embargo, dentro del alcance del presente estudio, los resultados ponen en evidencia la presencia de plaguicidas no cancerígenos como el diazinón y el profenofos, y otros con



este potencial de destrucción, expresados a través de su factor de pendiente, como el caso del cisheptacloroepóxido. ( $FS = 9,1$ )

## 5.6 RELACION DEL PRESENTE ESTUDIO CON OTROS SIMILARES

### 5.6.1 Comparando condiciones metereológicas y de cuenca hidrográfica

Un estudio realizado por (Salvatierra Suárez, Presencia de residuos de plaguicidas organoclorados y carbamatos en el río Ochromogo y efectos sobre la comunidad macrozoobentética, 1997): “Presencia de residuos de plaguicidas organoclorados y carbamatos en el Río Ochromogo y efectos sobre la comunidad macrozobentónica”, vincula algunas variables físico-químicas, con la presencia de plaguicidas y los efectos en las especies de macroinvertebrados; los resultados indicaron que las estaciones con mayores niveles de plaguicidas, eran también las más afectadas en la biota acuática; no obstante la concentración de oxígeno alcanzó valores hasta de 2,7 mg/l, y la temperatura oscilaba entre 28 y 34°C., condiciones físico-químicas difíciles para los macroinvertebrados; en cambio en ríos andinos como el Burgay, la capacidad de reaireación es alta, los niveles de oxígeno son cercanos a la saturación en la mayoría de los muestreos; la temperatura es menor y el oxígeno se solubiliza más, condiciones todas que permiten una respuesta fisiológica favorable de los macroinvertebrados acuáticos, a la presencia de plaguicidas. Por eso, en este estudio no existe relación entre el índice BMWP y la concentración de plaguicidas (en los rangos detectados). Como conclusión: las diferencias climatológicas y meteorológicas influyen directamente en la calidad del agua, y por tanto en la capacidad de respuesta de los organismos afectados por la contaminación.



### 5.6.2 Comparando índices

Un caso de estudio realizado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, “Aplicación del índice de Calidad del agua ICA, en el proceso de Auditoría Ambiental de Dragado en un canal de navegación”, (Aguayo, 2008). Este estudio evaluó la calidad del agua, empleando dos índices: ICA y NSF (Fundación de Sanidad de los Estados Unidos), concluyendo que los resultados son prácticamente los mismos; la calidad global del agua obtuvo un puntaje de 82/100 con el ICA (aceptable), y de 81/100 con el NSF (buena).

El índice NFS, es multiplicativo, se obtiene con la **Ecuación 5.1**:

$$NSF = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$
**Ecuación 5.1**

En donde:

$n$  = número de variables

$I$  = índice de calidad para el parámetro  $i$

$W$  = peso de importancia para las variables

Utiliza nueve parámetros: oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales, variación de temperatura, pH, nitratos, fosfatos, y  $DBO_5$ , y define cinco rangos de calidad; la similitud de los valores, permite concluir la similitud también de los modelos de cálculo y la valía de los dos índices como indicadores de calidad; pero por requerir solamente nueve parámetros, quizás es más práctico el uso del NSF y para determinados fines. Sin embargo, el ICA, es importante porque permite conocer la hidrogeoquímica del agua, al incluir otros parámetros no considerados en aquel índice.



### **5.6.3 Comparando plaguicidas encontrados en otros ríos**

Los plaguicidas detectados en estudios de varios ríos de muchos países andinos, son prácticamente los mismos; esto sugiere, que a pesar de ser sustancias prohibidas, su uso es masivo; y que por su persistencia algunos aún se encuentran en los cuerpos receptores. Por citar sólo un ejemplo de los muchos estudios existentes, que confirman lo indicado, (Martínez, González, Belmonte, & Garrido, 2004).

### **5.6.4 Comparando estudios anteriores realizados en el Río Burgay**

“Monitoreo de la Calidad del Agua en la cuenca del río Paute”, realizado en el año 2011, por la SENAGUA en convenio con la Universidad del Azuay. En este estudio se monitorearon todas las subcuenca del Paute; para la microcuenca del Burgay se realizaron siete campañas, desde octubre/2011 hasta abril/2011, en período de invierno; se ubicaron tres estaciones tipificadas como: B8 (Río Cachi); B2 (unión del Burgay con el río Déleg); y B13 (Río Tabacay, quebrada Guasol). Estos puntos representan las entradas y la salida de la subcuenca (criterio empleado en el estudio). Un resumen de los resultados, se expone en la Tabla 5.2

ESTACION	INDICE: NSF	INDICE: BMWP promedio	PLAGUICIDAS
B2	65 calidad: media		
B8	67 calidad: media	20,44: aguas muy contaminadas	Plaguicida OP Metamidofos: 2,2 mg/l
B13	67 calidad: media		

**Tabla 5.2: Resumen de estudio de calidad del río Burgay: SENAGUA, 2012**

Por lo visto, desde abril del 2011 hasta la fecha, la contaminación del cuerpo receptor es más significativa; la calidad físico-química en el estudio actual revela



valores en B2, hasta de 39,34 catalogada en la escala ICA como “muy contaminada”, y el índice BMWP, da valores para la misma estación hasta de 11, catalogada como “muy crítica”.

El estudio en referencia reveló un solo plaguicida OP (metamidofos), a diferencia del actual en donde se identificaron once, algunos de los cuales superaron la normativa indicada.

Como conclusión en ese estudio, la subcuenca del Burgay, ya fue descrita como la más afectada dentro de la cuenca del Paute.

## 5.7 EN CUANTO A LOS USOS

### 5.7.1 Según el índice ICA

Los usos del recurso en cada estación y en caudal bajo, medio y alto, se muestran en las Tablas 4.4, 4.5, y 4.6.

En caudal bajo la variación de la calidad es mayor; por lo que los usos disminuyen; esto es importante sobre todo para fines de abastecimiento; pues este uso requiere una calidad más o menos constante de la fuente, y en condiciones ideales, una “calidad uniforme”.

### 5.7.2 Según el índice BMWP

Ninguna estación representa condiciones para el sostenimiento de ecosistemas; la estación Cachi, que podría ser la de referencia, ya tiene el carácter de “dudoso”, con un “disturbio importante”, de su ribera; por lo que el cuerpo receptor en general se ve afectado en su balance dinámico, desde su nacimiento, con grave repercusión sobre el patrón de distribución de la población de los bentos, afectando el equilibrio de las cadenas tróficas que soportan el ecosistema. (ver Tabla 4.7)



### 5.7.3 Por la presencia de plaguicidas

Los usos quedan aún más restringidos; ninguna estación está libre de plaguicidas, y aunque sus concentraciones estén por debajo de los límites preceptivos, su sola presencia ya implica un riesgo; por ejemplo el aldrín y el BHC, son cancerígenos probados.

En las estaciones que superaron las normas, los usos, sobre todo para el abastecimiento y riego, quedan bajo supervisión, requiriendo tratamiento específico, para disminuir el riesgo toxicológico.

Los niveles ND, no necesariamente significan que no están presentes, es posible que estén en concentraciones menores a los niveles de detección del método (0.002 ppb); indicando que el nivel de riesgo posiblemente es mayor que el establecido.

## 5.8 PARAMETROS QUIMICOS RELACIONADOS CON LA TOXICIDAD DE LOS PLAGUICIDAS

Son deseables las siguientes condiciones físico-químicas del río, para minimizar los efectos de los plaguicidas: saturación de oxígeno, baja temperatura, y bajo pH (< 7,2); un rango de pH: 7,2 - 8,2 incrementa la hidrólisis de los plaguicidas, disminuyendo su estabilidad, pero aumentando su toxicidad; al hidrolizarse, los plaguicidas se ionizan, y sus formas ionizadas son más tóxicas (Coronado, O., 2008). Según esto, las estaciones que más favorecen la toxicidad de los plaguicidas son: DJ Tabacay, debido a que consecutivamente incrementa el pH, con respecto a la anterior; AJ. Déleg y DJ. Déleg, en cambio porque los niveles de oxígeno generalmente son los más bajos.



## 5.9 UNA REVISION DEL INDICE

- a) El modelo de calidad empleado, es apropiado para iniciar la evaluación de un cuerpo receptor poco estudiado como el Burgay; los 18 parámetros revisados (sobre todo el grupo de componentes iónicos: conductividad, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, cloruros, pH), permiten conocer la hidrogeoquímica del agua, es decir la composición química que tendría por la litología de la cual proviene; así la litología muestra el escenario de la corriente, y cualquier alteración en su composición es motivo de revisión.
- b) Conocida la Hidrogeoquímica, es posible en estudios posteriores para evaluaciones rutinarias, seleccionar solamente parámetros indicadores de contaminación; el ICA presenta esta versatilidad.
- c) Según el índice, la mejor condición para la calidad del agua, se presenta en caudal medio.
- d) Los parámetros que influyen en el descenso del ICA en caudal alto son: la turbiedad, el color, los nutrientes; en caudal bajo en cambio: la conductividad, los coliformes totales y fecales, la alcalinidad, la dureza, los cloruros, la DBO<sub>5</sub>.
- e) El índice es sensible a la contaminación por nutrientes provenientes de la escorrentía agrícola; si éstos se eliminan, se modifican significativamente los usos del recurso (ver Tabla 4.11).
- f) Los pesos relativos asignados a ciertos parámetros, no representan el real efecto en la calidad; por ejemplo, la turbiedad es un parámetro que cambia considerablemente con el caudal, pero el peso asignado es sólo 0,5; los valores mínimo de 1,3 NTU y máximo de 240 NTU no introducen cambio visible en el ICA, a pesar de su repercusión en la vida acuática de la corriente y su significado sanitario. Para subcuenca con pendiente como la del



Burgay; la turbiedad es un indicador de erosión, que en el modelo de calidad aplicado, tiene poca significancia.

- g) Un ICA aceptable para un uso específico, puede esconder valores mayores a los permitidos por las normas, para algunos parámetros y para el mismo uso.

## 5.10 ASPECTOS HIDROGEOQUIMICOS DEL AGUA

Los análisis del agua en la estación Cachi permiten sustentar, que se trata de una fuente superficial con baja conductividad, pequeña concentración de sólidos disueltos, débil capacidad de amortiguamiento, blanda, y ligeramente ácida; aspectos importante para nuestras condiciones, ya que el agua que se capta en las zonas de páramos, o en general en las cuencas altas tienden a colorearse, constituyendo el color una de las principales características que deben ser corregidas por tratamiento.

Avanzando la corriente, se esperaría un incremento en el contenido de sulfatos y materia orgánica por el tipo de formaciones por las que atraviesa el agua.



## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES GENERALES

1. Según el modelo de calidad empleado, el Río Burgay está catalogado como “poco contaminado” en su zona alta, y “contaminado” en la parte media y baja.

En la cuenca alta, los mayores contaminantes son los nutrientes sobre todo compuestos de fósforo, provenientes de la actividad agrícola predominante en la zona y que son arrastrados tanto por la escorrentía, como por los excedentes de riego al Río Cachihuayco.

En la parte media, la mayor afección es debida a la actividad erosiva del río Tabacay, que arrastra sólidos suspendidos de muy diversa naturaleza; y a las descargas de aguas residuales domésticas, procedentes de las poblaciones de Guapán, Bayas, Cachipampa, y otras.

En la parte baja, la contaminación procede de las descargas de aguas residuales domésticas no tratadas de las poblaciones mayores, Azogues, Borrero, Javier Loyola, y varios centros poblados.

El uso del suelo incluyendo la urbanización y la industrialización, afectan significativamente a la calidad del agua, siendo la agricultura la que produce un efecto más profundo en los recursos hídricos debido a su naturaleza, a la extensión y al grado de dispersión (contaminación difusa).

Esta **calidad de agua restringe sus usos**, sobre todo para el consumo humano y para el mantenimiento de la pesca y vida acuática (ecosistema).



2. Debido a la presencia de plaguicidas, hay un **riesgo toxicológico permanente en el cuerpo receptor**, por lo que es necesario despertar una preocupación en los organismos encargados de la administración y el manejo del recurso.
3. En general es un cuerpo receptor deteriorado; la zona alta del río (Estación Cachi) ya sugiere “mayor necesidad de tratamiento”, y la presencia de plaguicidas la convierten en una fuente peligrosa; aspecto muy importante para las comunidades que captan el agua de esta zona, para consumo humano.
4. Es probable que la presencia de residuos de plaguicidas OC y OP, haya ocasionado alteraciones en la composición, abundancia y distribución de los organismos acuáticos, en todas las estaciones estudiadas. Sin embargo, la toxicidad en la fuente puede deberse a otros tóxicos, como metales pesados y otros compuestos no investigados.
5. Es emergente la recuperación del río Burgay, para preservar la calidad del recurso en la cuenca del Paute, mediante acciones que van desde la intercepción de las aguas residuales domésticas, hasta la reconformación del bosque de ribera, para proteger así las características geológicas y de suelos de las márgenes.
6. Las concesiones de parte de la SENAGUA deben tomar en cuenta la calidad del agua en las asignaciones del recurso; sobre todo cuando el uso sea el doméstico y el consumo humano, especialmente crítico en períodos de estiaje.
7. Al no disponer de tratamientos específicos para la remoción de plaguicidas, se deberán extremar las medidas de control y vigilancia de la calidad del agua, tanto en la fuente de abastecimiento, como del agua tratada y distribuida.



8. Si los plaguicidas son detectados en el agua (fracción acuosa del río), por sus propiedades se puede predecir que estarán en mayores concentraciones en los sedimentos afectando el ecosistema; por lo que es necesario, muestreos periódicos en esta matriz ambiental.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que el Ministerio del Medio Ambiente como organismo de control, identifique las actividades catalogadas como “potencialmente contaminantes” (agrícolas, ganaderas, industriales), y que interfieren con los usos del agua; exigiendo a través de la Licencia Ambiental, el cumplimiento de la Normativa TULSMA.
2. Establecer un Programa de Vigilancia de la calidad del agua de los ríos dentro del área de influencia de la ciudad de Azogues y sectores perimetrales, basado en parámetros físicos, químicos, bilógicos y toxicológicos, que permita una evaluación oportuna e integral, y garantizar su aptitud para el mantenimiento de la pesca, vida acuática y el abastecimiento para uso doméstico y consumo humano principalmente.
3. Siendo la actividad agrícola una de las causas de mayor efecto en la contaminación, es indispensable la intervención de los ingenieros agrónomos en la planificación de los programas de vigilancia. Como paso preliminar es necesario una identificación y cuantificación de los usos del suelo en las cuencas hidrográficas, tanto de los causes principales, como de quebradas y otros cuerpos menores que son característicos en la zona.
4. Para garantizar la salud y protección de los trabajadores, el IESS (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social), dentro del área de Seguro General de Riesgos



del Trabajo, establece un “Reglamento de uso y aplicaciones de plaguicidas en las Plantaciones dedicadas al cultivo de flores”, que deberán ser observadas por florícolas ubicadas dentro de la subcuenca.

**5.** Se ha podido observar que muchos de los plaguicidas, junto con los químicos utilizados en cultivos, áreas de pastoreo y de explotación pecuaria, son de libre e incontrolado expendio, al igual que las prácticas y períodos de aplicación. Las autoridades deben coordinar las diversas competencias para regular, normar y controlar la venta, así como las cantidades y tipos de productos químicos y abonos orgánicos aplicados, tanto en los cultivos convencionales y tradicionales, como en las nuevas explotaciones, como flores y otros productos de cultivo intensivo, destinados principalmente a la exportación.

**6.** El índice ICA permite un análisis de la tendencia de la calidad, por lo que puede ser empleado como una herramienta de información pública y para el manejo del recurso; no obstante, se plantea la necesidad de trabajar en la formulación de un índice de calidad del agua, que responda a las condiciones propias de la zona, y para ríos de alta montaña, basado en experiencias previas, lo cual significa un estudio más avanzado, unido a muestreos representativos en los puntos característicos.

**7.** La investigación presentada debe llamar la atención a las entidades de salud y de agricultura, para generar una práctica oportuna, continua y sistemática de control y vigilancia de calidad del agua; así como de las inspecciones en las diversas cuencas y microcuencas, que permitan detectar cambios en los usos del suelo, sistemas de evacuación y otros indicadores, para detección y evaluación temprana de potenciales contaminantes o de acciones de hecho.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguayo, L. (2008). Aplicación del Indice de Calidad del Agua ICA, en el proyecto de auditoría ambiental de dragado en un canal de navegación. Caso de estudio. Guayaquil, Ecuador.

Alba-Tercedor. (1996). Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucia*, (págs. 203-213). Almeria - España.

Alba-Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., & Pujante, A. (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva MARCO del Agua . *Confederación Hidrográfica del EBRO*, (pág. 44). España.

Anapo, Ciat; citado por Coronado. (2008). *Condiciones Físico-Quícmicas para la Estabilidad de los Plaguicidas*.

Aquatic Bioassessment Laboratory. (2012). *California Digital Reference Collection*. Obtenido de Departament of Fish and Game:  
[http://www.dfg.ca.gov/abl/lab/CA\\_digital\\_ref\\_familylevel\\_home.asp#coleo](http://www.dfg.ca.gov/abl/lab/CA_digital_ref_familylevel_home.asp#coleo)

Behar, Zuñiga, & Rojas. (1997). *Seminario Internacional sobre macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua*. Recuperado el 14 de Junio de 2012, de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/1489>

Beltrán, J., Morele, I., & Hernandez, F. (2001). *Grupo de Investigación del Medioambiente y Recursos Naturales. Departamento de Ciencias Experimentales*. Recuperado el 17 de Mayo de 2012, de Universidad de



Jaume. Castellon. España: [http://ab.ufl.edu/carpena/files/pdz/zona no saturada/avances en la investigación v2/c17245 256.pdf](http://ab.ufl.edu/carpena/files/pdz/zona_no_saturada/avances_en_la_investigación_v2/c17245_256.pdf)

Benitez, P., & Miranda, L. (23 de Julio de 2013). Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 29 (Número Especial sobre Plaguicidas). Aguas Superficiales por Residuos de Plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. Caracas, Venezuela.

Birmingham, M., & Hubbard, D. (2005). *Benthic Macroinvertebrate Key*.

Blyth, & Freitas. (2003). *Geología para Ingenieros. Mexico Novena Reimpresión*. Londres: Imperial College of Science and Tecnology London.

Bristow, C. (1973). *Guide to the Geology of Cuenca Basin, southern Ecuador*. Quito, Ecuador: Ecuadorian geol and geophys Soc.

British Ecological Society. (1992). River Water Quiality. *Issues N°1 Primera Edición*, 15.

Capo, M. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. España: Tébar, S.L.

Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de Monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: Ecociencia.

Carretero, M., & Pozo, M. (2007). *Mineralogía Aplicada. Salud y Medio Ambiente*. España: Thomson. Universidad de Sevilla y Universidad Autónoma de Madrid.

Catalán La Fuente, J. (1987). *Ríos. Caracterización y calidad de sus aguas*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



Cepeda, J. M. (2007). Capítulo II: . En J. M. Cepeda, *Química de los Suelos*.

*Segunda Edición*. Trillas - México.

Chang, J. (2012). *Principios de Contaminación Ambiental*. Guayaquil, Ecuador:

Escuela Superior Politécnica del Litoral.

EPA. (20 de Febrero de 2014). *EPA( AGENCIA AMERICANA DE PROTECCION*

*DEL MEDIOAMBIENTE*). Obtenido de

(<http://www.epa.gov/pesticides/regulating/index.htm>, 2014).

Estrella, R., & Tobar, V. (Julio de 2008). Estudio Hidrológico en la subcuenca del Río Paute. *Estudio Hidrológico en la subcuenca del Río Paute*. Azogues, Cañar, Ecuador: EMAPAL.

FAO. (1997). Obtenido de

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm#TopOfPage>

FAO. (2006). *FAO ( ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA)*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2012, de Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hidricos:  
<http://www.fao.org/docrep/w2598S06.htm>

Fersman, A. (2010). *Libros Maravillosos*. Recuperado el Diciembre de 2013, de [www.librosmaravillosos.com](http://www.librosmaravillosos.com)

Garcés, L., Mejía, E., & Santamaría, J. (2006). La Fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de Aguas Residuales. *Lasallista de Investigación, Volumen I N°1*, 83-91.



- García, C. (2012). Problemática y Riesgo Ambiental por el Uso de Plaguicidas en Sinaloa. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 1-10.
- Grupo Océano. (1999). Geología Atlas Visuales Océano. Barcelona, España: Grupo Océano S.A.
- Gualdoni, C., Duarte, C., & Medeot, E. (2001). Estado ecológico de dos arroyos serranos del sur de Córdoba, Argentina. *Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral* 21., 149 – 162.
- Idaho River Ecological Assessment Frame Work: An Integrated Approach del Departamento del Medio Ambiente de la Universidad de Oregon. (2002).
- Journal of the American Water resources association. Volumen 37 N°1. (Febrero de 2001). Estados Unidos.
- Kiely, G. (2001). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Volumen II.* Mc GRAW-HILL, Capítulo 7 pag: 412.
- Krutchker, A. (2009). Evaluación de la Calidad de los Bosques de rivera en ríos del noroeste de Chubut, sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral* 19, 19-34.
- Manring, J. (1997). OPS-OMS. Recuperado el 5 de Mayo de 2012, de Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente. México:  
<http://190.223.52.140:8080/cendoan/bitstream/123456789/297/1CDAM0000158.pdf>



Margalef, R. (1983). *Limnología*. Madrid: Omega S.A. Reimpreso 2011 Barcelona, España.

Marin, R. (2003). *Físicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y control de la calidad de las aguas*. Madrid, España: Diaz de Santos S.A.

Martinez, & Gonzalez. (2004). Estudio de la comunicación por pesticidas en agua ambientales de la Provincia de Almería, Bolivia. Ameria, Bolivia.

Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales*. Madrid - España: McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.

Moreno, M. (2003). *Toxicología Ambiental. Primera Edición*. España: Mc GRAW-HILL.

Munné, A., Prat, N., Solá, C., Bonada, N., & Riera devall, M. (2003.). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian hábitat in rivers and streams: QBR index. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 13, 147 – 163.

Ordoñez, G. (2001). *Apuntes de Química del Agua*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Perez, J. (2012). Toxicología General. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.

Rauch, W., Henze, M., Koncsos, L., Riechert, P., Shanahan, P., Somlyódy, L., & Vanrolleghem, P. (1995). *River Water Quality Modelling: I. State of the Art*.

Rizo, F., Kumar, A., McCoy, M., Springer, M., & Trama, F. (10 de Junio de 2013).

*Repositorio Science Direct*. Recuperado el 14 de Enero de 2014, de Revista:



Ecological Indicators:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X12004244>

Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Colombia: Fondo FEN Colombia. ColCiencias. Universidad de Antioquia, Bigota-Colombia.

Salvatierra Suárez, T. (1997). *CIRA-UNAN: CENTRO PARA LA INVESTIGACION EN RECURSOS ACUATICOS DE NICARAGUA*. Recuperado el 3 de Junio de 2013, de [http://www.bvsde.org.ni/Web\\_textos/CIRA/Cira0005/25.pdf](http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/CIRA/Cira0005/25.pdf)

Sanchez, M., & Sanchez, M. (1983). *Repositorio Science Direct*. Recuperado el 13 de Enero de 2014, de Revista EL SIEVER:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706183900356>

SENAGUA. (2011). *Inventario Participativo de Recursos Hídricos*. Cuenca: SENAGUA.

SENAGUA. (2012). *Monitoreo de la Calidad del Agua en la cuenca del Río Paute*. Cuenca: Universidad del Azuay.

Sierra, C. A. (2011). *Calidad del Agua*. Medellín: Universidad de Medellín.

Tebbut, T. (1995). *Fundamentos del Control de la Calidad del Agua*. Birmingham - Inglaterra: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Birmingham.

Torres, P. (2009). *Revistas: Ingenierías Universidad de Medellín*. Recuperado el 4 de Marzo de 2012, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>



Tucci, C., Porto, R., & Barros, M. (1995). *Drenagen Urbana. Primera Edición.* Brazil: Editora de Universidades.

Universidad Agraria del Ecuador. (Junio de 2012). Proyecto: Calidad del agua y su contaminación de origen agrícola, en los ríos Babahoyo y Yaguachi en la cuenca del río Guayas. *Proyecto: Calidad del agua y su contaminación de origen agrícola, en los ríos Babahoyo y Yaguachi en la cuenca del río Guayas.* Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.

Universidad of Hertfordshire. (03 de Septiembre de 2009). *Base de datos de las propiedades de plaguicidas.* Recuperado el 20 de Diciembre de 2013, de <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/foodprint/es>

Zamora, H. (2003). *El Índice BMW y la Evaluación Biológica de la Calidad del Agua en los Ecosistemas Acuáticos Epicontinentales Naturales de Colombia.* Colombia: Fundación Eco-Ambiental de Colombia.



## ANEXOS

ANEXO 1												
VALORES DE CAUDALES: m <sup>3</sup> /s												
MUESTREOS	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12
FECHA	04-feb	01-mar	03-abr	25-abr	13-may	13-jun	27-jun	11-jul	04-sep	19-sep	17-oct	07-nov
RIO CACHI	0,90	0,62	0,53	0,26	0,56	0,70	0,55	0,50	0,29	1,00	0,54	0,43
RIO CACHIHUAYCO		0,22	0,24	0,04	0,05	0,55	0,20	0,27	0,17	0,26	0,24	0,02
RIO TAMBO		0,28	0,49	0,33	0,29	2,88	0,72	1,76	0,72	1,35	0,57	0,18
RIO BURGAY	2,32	1,40	1,66	0,91	2,95	6,35	1,52	4,55	2,47	3,47	3,61	0,62
RIO BURGAY A.J. TABACAY	4,13	1,92	2,80	1,44	3,14	8,76	2,45	4,96	2,72	4,03	4,11	0,91
RIO BURGAY D.J. TABACAY	4,50	2,32	3,04	1,53	3,38	11,00	2,96	6,61	3,83	5,37	4,84	1,12
RIO BURGAY A.J. DELEG	3,71	1,62	2,88	1,70	3,48	10,20	3,21	7,24	4,15	6,55	3,90	1,07
RIO BURGAY D.J. DELEG	4,90	2,88	4,11	1,79	3,71	12,42	4,25	8,36	4,94	8,23	6,23	1,75

Ríos Cachihauyco y Tambo, son afluentes del Burgay en la zona alta, sus caudales se suman a la estación Cachi para obtener el caudal en la estación Burgay.

Los caudales más bajos corresponden al último muestreo del 7 de noviembre, y los más altos al sexto muestreo, del 7 de junio.

Caudal mínimo registrado en la subcuenca: 0,3 m<sup>3</sup>/s (estación Cachi), y el máximo: 12,4 m<sup>3</sup>/s (estación Burgay DJ Délég).



## ANEXO 2

## LABORATORIO DE SANITARIA-FACULTAD DE INGENIERIA

## RESULTADOS DE ANALISIS FISICO - QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia: Río Burgay      Condiciones climatológicas: Estiaje      Fecha de toma y análisis: 1 de Marzo del 2013

PARAMETRO	1 RIO CACHI	A RIO CACHIHUAYCO	B RIO TAMBO	2 RIO BURGAY ORIGEN	3 RIO BURGAY A.J. TABACAY	4 RIO BURGAY D.J. TABACAY	5 RIO BURGAY A.J. DELEG	6 RIO BURGAY D.J. DELEG	UNIDAD	OBSERVACIONES
HORA DE CAPTACION DE LA MUESTRA	9:40H	10:10H	10:45H	11:25H	14:20H	14:50H	15:47H	16:25H		
TEMPERATURA	11,5	13,0	14,0	15,5	16,4	16,5	18,2	18,6	°C.	in situ
CAUDAL	0,62	0,22	0,28	1,40	1,92	2,32	1,62	2,88	m <sup>3</sup> /s	in situ
COLOR REAL	16,0	33,0	29,0	26,0	23,0	16,0	20,0	19,0	UC, Pt Co	
TURBIEDAD	2,12	60,20	6,23	27,80	61,40	117,00	293,00	135,00	NTU, FTU	
CONDUTIVIDAD	120,2	109,0	123,5	131,3	264,0	419,0	569,0	552,0	microsiemens/cm	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	12,0	131,0	22,0	55,0	101,0	158,0	648,0	243,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELtos TOTALES	99,0	104,0	111,0	141,0	203,0	251,0	375,0	357,0	mg/l	
pH	8,10	7,98	7,99	8,09	7,94	8,86	7,87	7,85		
ALCALINIDAD TOTAL	68,0	50,0	60,0	64,0	86,0	100,0	120,0	108,0	mg/l, CaCO <sub>3</sub>	
ALCALINIDAD F.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	mg/l, CaCO <sub>3</sub>	
DUREZA TOTAL	52,0	52,0	48,0	56,0	92,0	112,0	164,0	178,0	mg/l, CaCO <sub>3</sub>	
P.ORTOFOSFATOS TOTAL	1,24	1,11	1,77	1,82	1,57	2,71	3,41	1,80	mg/l	
CLORUROS	4,5	4,0	4,0	7,0	9,0	41,0	54,0	49,0	mg/l	
N. NITRATOS	0,30	1,78	0,18	0,86	0,37	0,52	2,37	2,27	mg/l	como Nitratos
N.AMONIACAL	0,04	0,06	0,03	0,03	0,22	0,23	0,98	0,85	mg/l	como Nitrógeno
OXIGENO DISUELTO	8,80	8,99	8,42	8,04	7,19	7,65	7,19	6,81	mol/l	in situ
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	4,02	5,16	4,02	1,54	8,68	10,6	46,3	28,7	mg/l	

SEGUNDO MUESTREO

**ANEXO 3****MÉTODOS DE ANALISIS**

<b>PARAMETRO</b>	<b>TECNICA</b>	<b>REFERENCIA</b>
<b>Color Real</b>	Método Espectofotométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2120 C.
<b>Turbiedad</b>	Método Nefelométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2130 B.
<b>Conductividad</b>	Método de Laboratorio	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2510 B.
<b>Solidos Suspendidos Totales</b>	Sólidos suspendidos totales desecados a 103°C – 105°C.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2540 D.
<b>Solidos Disueltos Totales</b>	Sólidos disueltos desecados a 103°C – 105°C.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2540 B.
<b>pH</b>	Método Electrométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500 B.
<b>Alcalinidad Total</b>	Método volumétrico de titulación.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección



		2320 B.
<b>Dureza Total</b>	Método Titrimétrico de EDTA	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2340 C.
<b>Fosforo de Ortofosfatos Totales</b>	Método del ácido ascórbico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500-P E.
<b>Cloruros</b>	Método Argentométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500 B.
<b>Nitrógeno de Nitratos</b>	Método del Salisilato sódico	Análisis de las aguas. Aguas naturales, Aguas residuales, Agua de mar.- J. RODIER
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	Método de Destilación	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 4500 B.
<b>Oxígeno Disuelto</b>	a) Método Winkler (modificación de azida) b) Método del electrodo de membrana	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 4500 C. y Sección 4500 G
<b>Demandा Bioquímica de Oxígeno</b>	Test de la DBO cinco días, por dilución	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 5210 B.
<b>Coliformes Totales</b>	Método de la estimación de la densidad bacteriana:	a) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9221C b) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición



	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica de los tubos múltiples NMP</li> <li>b) Técnica por filtración de membrana UFC</li> </ul>	21°, 2005 Sección 9222 B.
<b>Coliformes Fecales (E. coli)</b>	<p>Método de la estimación de la densidad bacteriana:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica de los tubos múltiples NMP</li> <li>b) Técnica por filtración de membrana UFC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9221F</li> <li>b) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9222 D.</li> </ul>



## ANEXO 4

# FUNCIONES DE TRANSFORMACION Y CRITERIOS DE CALCULO

### 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

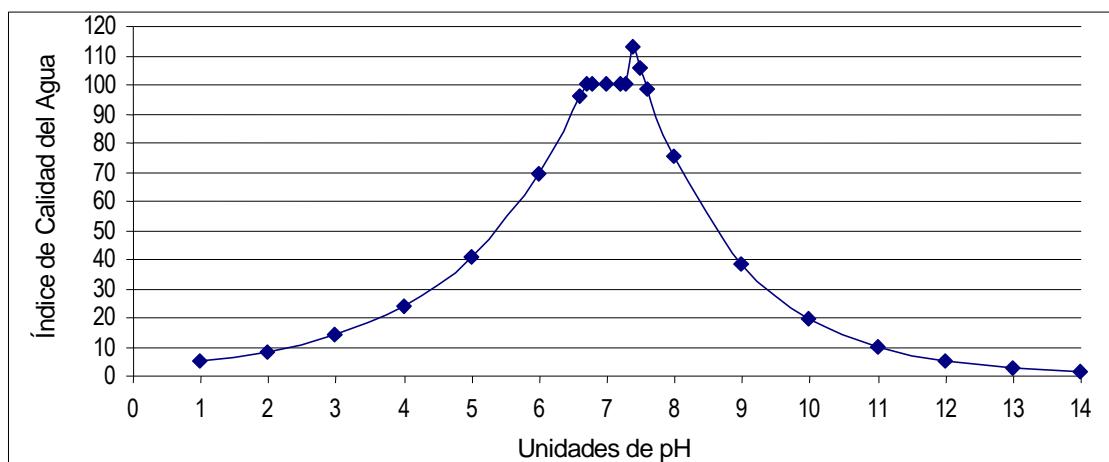
$$I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.44} \quad \text{Si el pH es menor que 6.7} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{pH} = 100 \quad \text{Si el pH está entre 6.7 y 7.3} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}} \quad \text{Si el pH es mayor que 7.3} \quad \dots\dots\dots(3)$$

La gráfica 1 muestra el comportamiento de las ecuaciones.

**Gráfica 1 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH**



#### ❖ Color

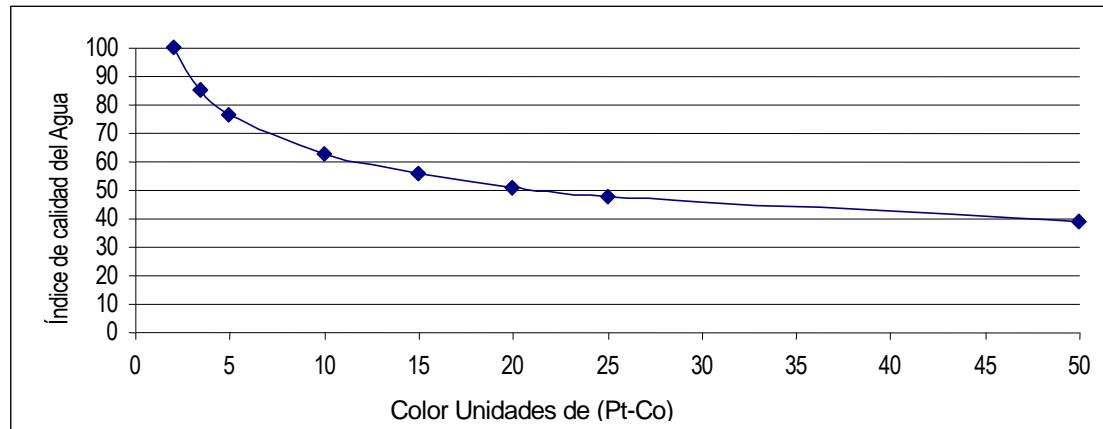
$$I_C = 123 (C)^{-0.295} \quad \dots\dots\dots(4)$$

(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



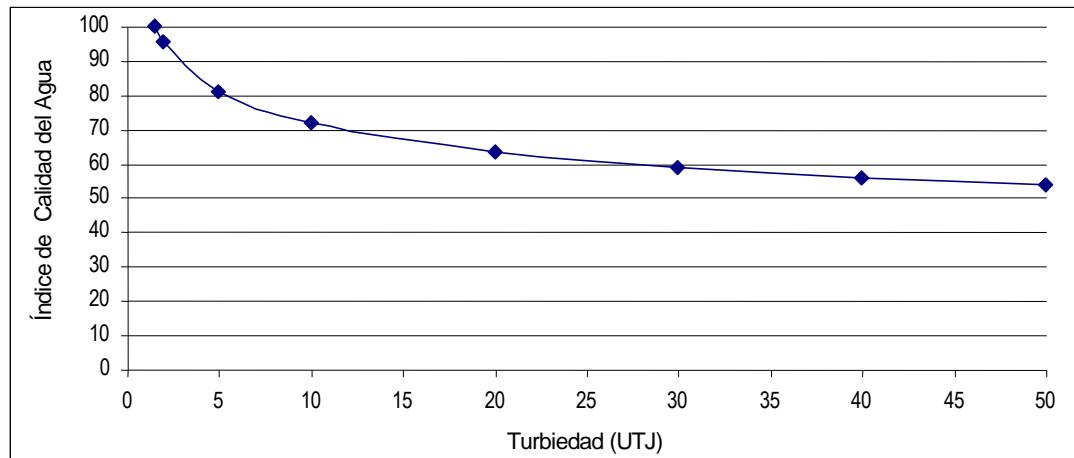
#### ❖ Turbiedad

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

(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

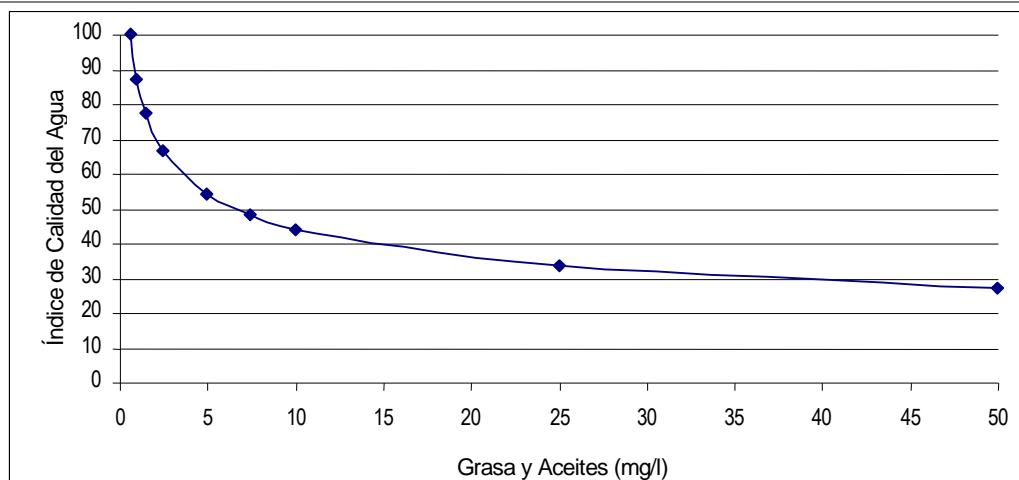
$$I_{G\gamma A} = 87.25 (G \gamma A)^{-0.298} \quad \dots \quad (6)$$

### (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**



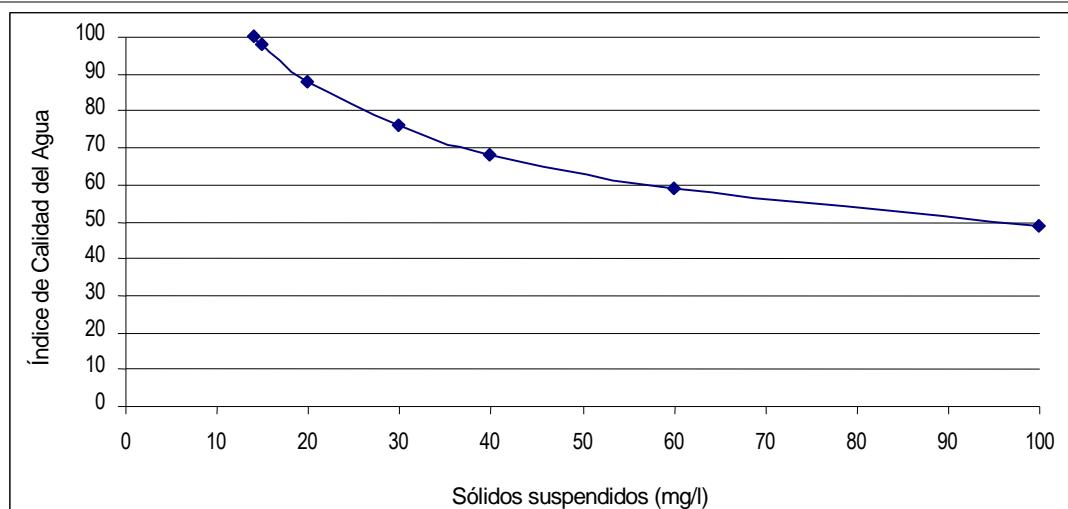
- #### ❖ Sólidos Suspensidos

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

### (SS) Sólidos Suspensidos en mg/l

La gráfica 5 muestra el comportamiento de esta ecuación.

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



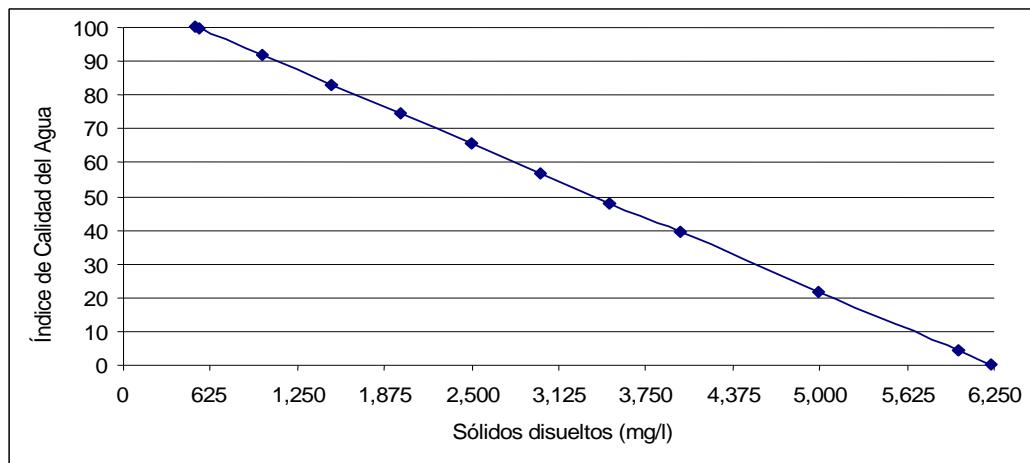


### ❖ Sólidos Disueltos

### (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



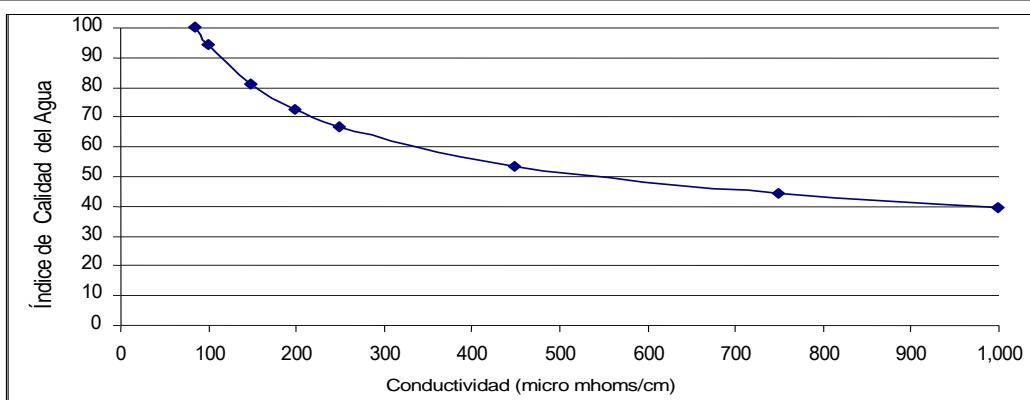
#### ❖ Conductividad Eléctrica

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

(CE) Conductividad Eléctrica en  $\mu$ hos/cm

La gráfica 7 muestra el comportamiento de esta ecuación.

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



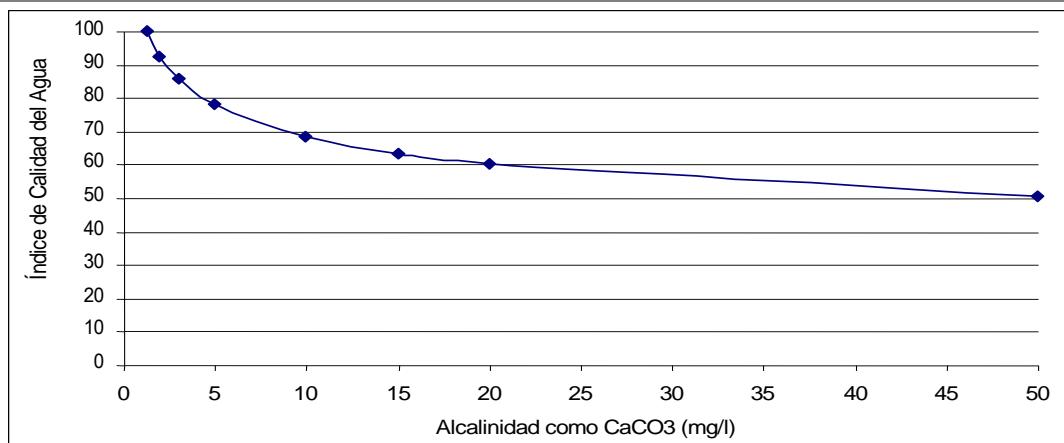


#### ❖ Alcalinidad

(A) Alcalinidad en mg/l como CaCO<sub>3</sub>

La gráfica 8 muestra el comportamiento de esta ecuación.

## Gráfica 8 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de alcalinidad



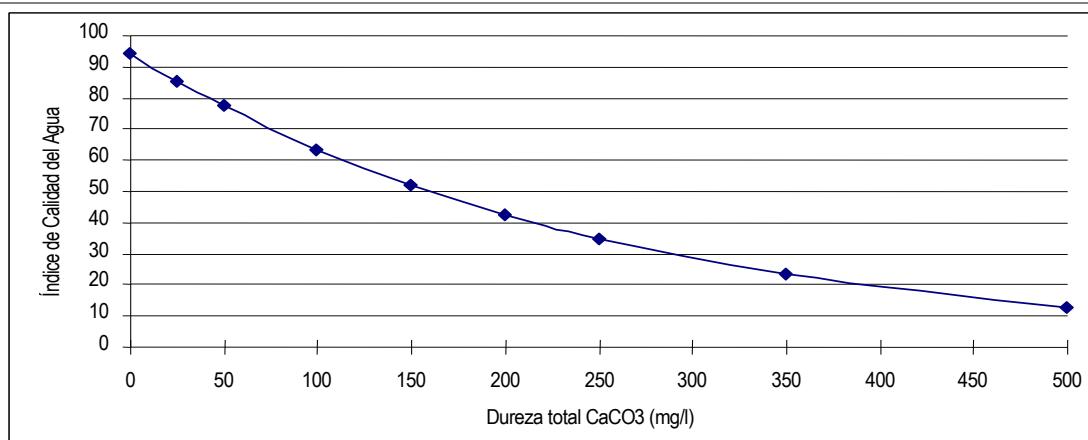
## ❖ Dureza Total

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

(DT) Dureza Total en mg/l como CaCO<sub>3</sub>

La gráfica 9 muestra el comportamiento de esta ecuación.

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





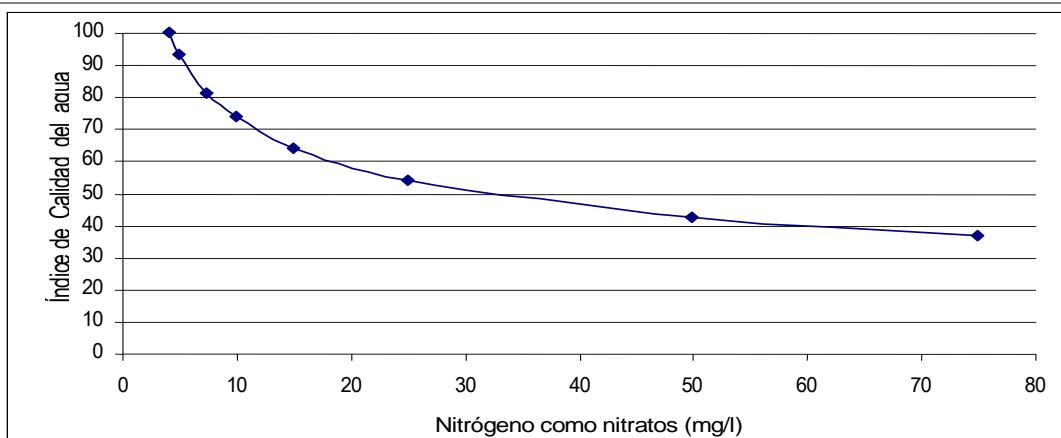
#### ❖ Nitrógeno de Nitratos

$$I_{N\text{-NO}_3} = 162.2 (N\text{-NO}_3)^{-0.343} \quad \dots \quad (12)$$

### (N-NO<sub>3</sub>) 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

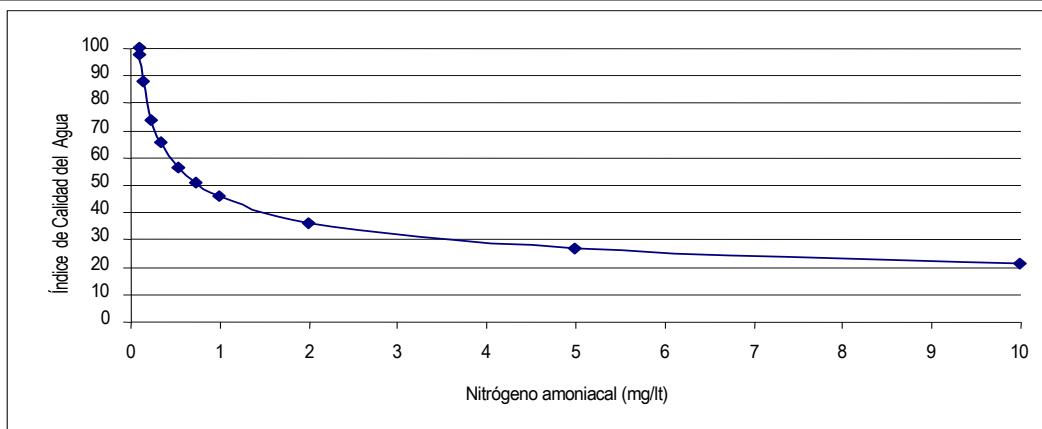


#### ❖ Nitrógeno Amoniacal

(N-NH<sub>3</sub>) 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**





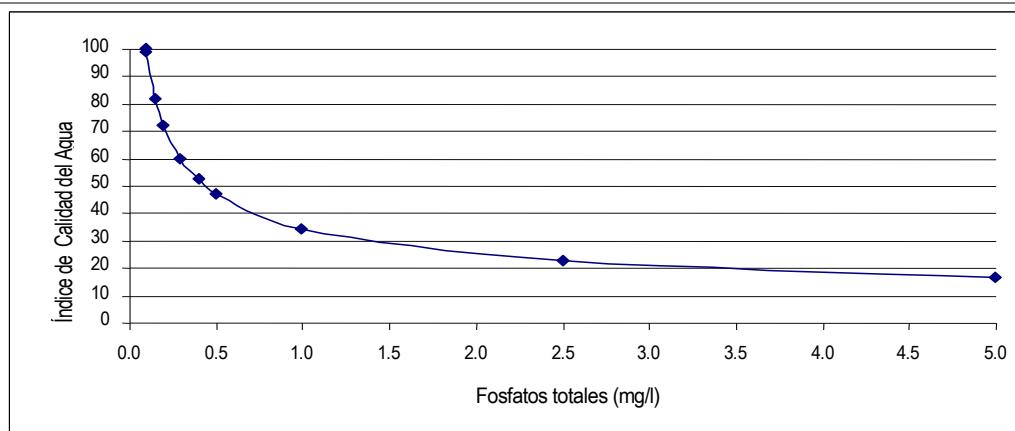
#### ❖ Fosfatos Totales

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

### (PO<sub>4</sub>) 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



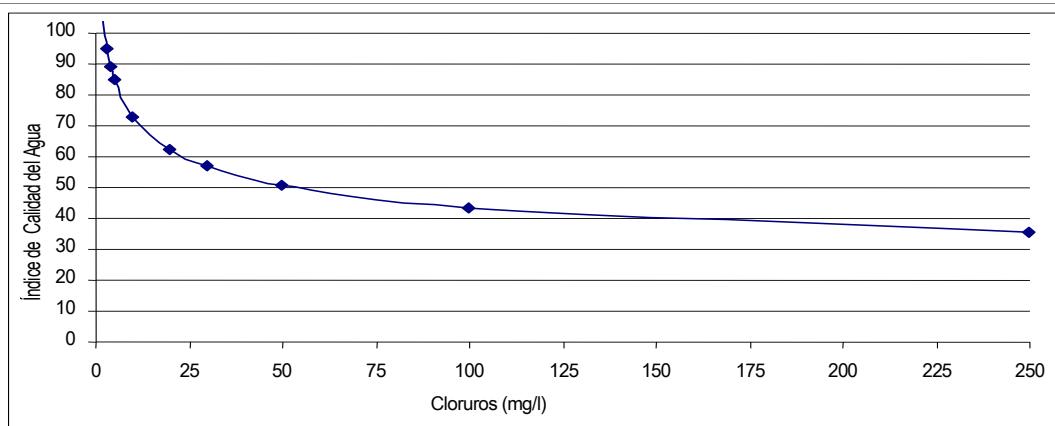
### ❖ Cloruros

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

(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

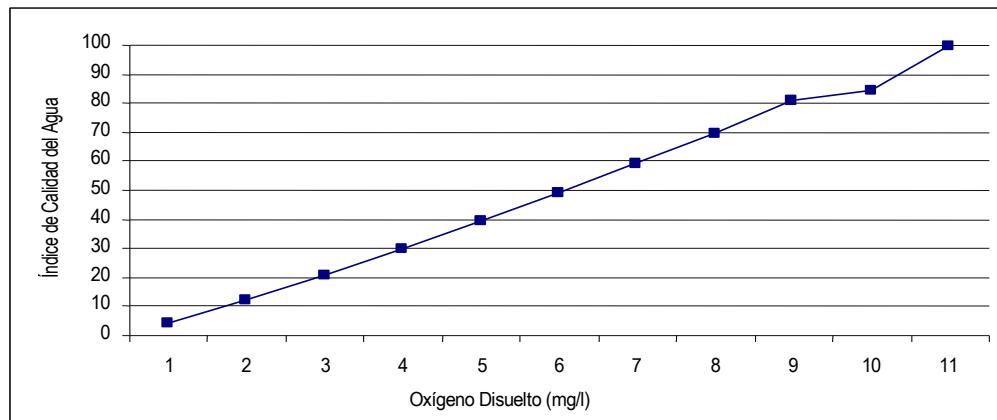
$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

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

(Oxígeno Disuelto)<sub>sat</sub> mg/l de saturación T<sub>sat</sub> = T<sub>c</sub>

La gráfica 14 muestra el comportamiento de esta ecuación.

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

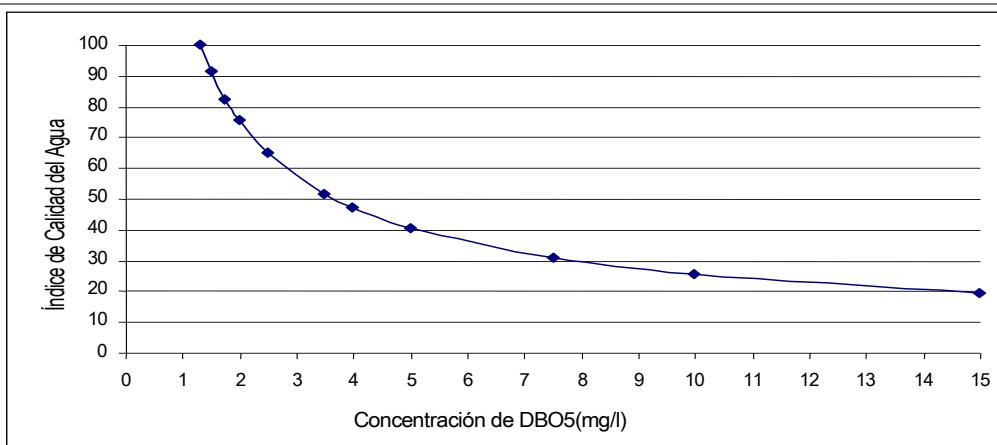


#### ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno

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

(DBO) Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l

### Gráfica 15 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de DBO<sub>5</sub>



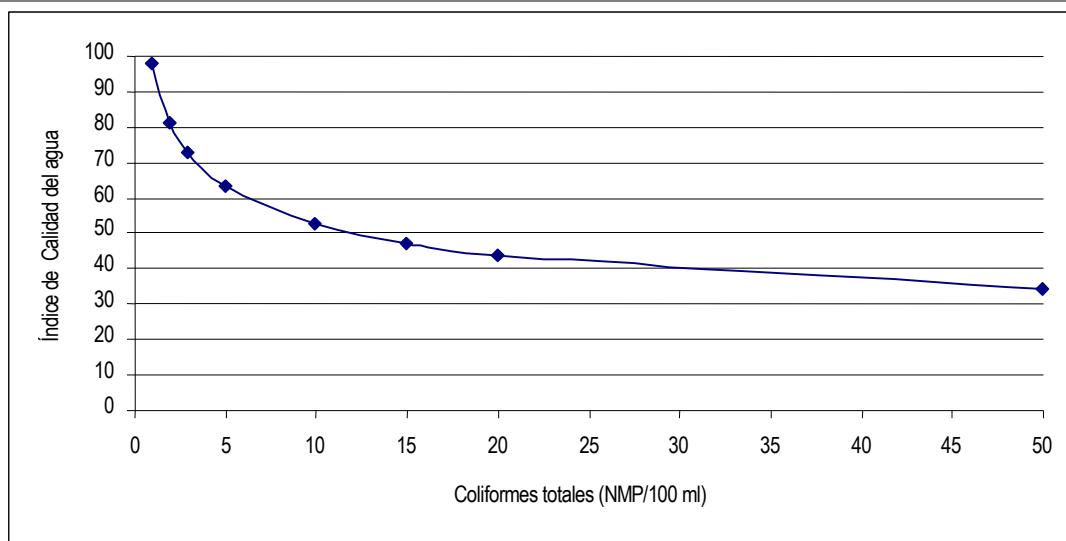


## ❖ Coliformes Totales

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

(CT) Coliformes Totales en NMP / 100 ml

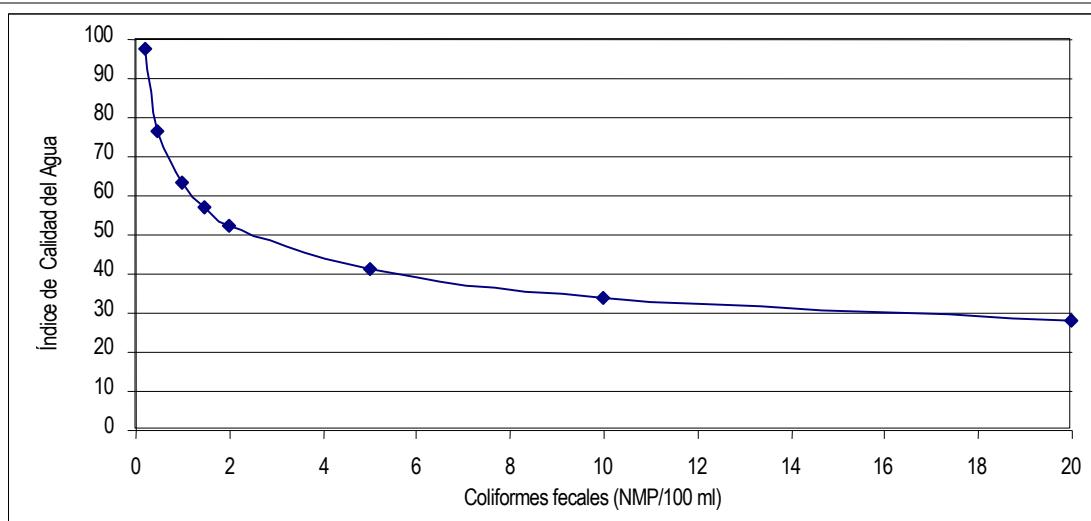
#### Gráfica 16 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes totales



#### ❖ Coliformes Fecales

(CF) Coliformes Fecales en NMP / 100 ml

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



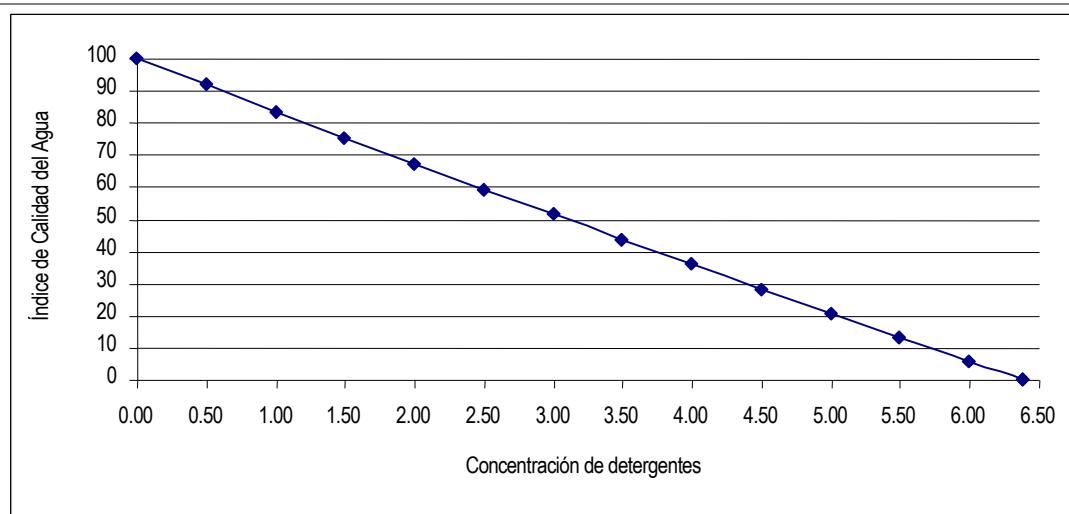


#### ❖ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

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

(SAAM) Sustancias Activas al Azul de Metileno en g/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  $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ , 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:

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

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 5

## FICHAS DE CAMPO INDICES BIOLOGICOS

## Hoja de campo para el índice BMWP

FASE DE CAMPO			
<b>DATOS GENERALES</b>			
NOMBRE DEL RÍO	GALOHAY	PROVINCIA	CAÑAR
CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	P01	FECHA	23 DE FEBRERO DE 2013
GPS NOMBRE Y DATUM	GARMIN / UTM WGS 84	ALTURA (msnm)	2985 msnm
LONGITUD (UTM)	727830	LATITUD (UTM)	9703447
TÉCNICO(S) RESPONSABLE(S)	BLGO. GONZALO CÓRDOVA; BLGO. XAVIER ÍÑIGUEZ		
<b>CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO</b>			
<u>Subsistema del arroyo</u>			
Perenne	Intermitente		
<u>Terreno circundante predominante</u>			
bosque	pasto	agricultura	
residencial	comercial	industrial	
otro			
<u>Vegetación ribereña</u>	(18 metros de buffer. Indicar tipo dominante)		
Arboles	Arbustos	Pastizal	Herbáceas
<u>Polución local de la cuenca del río</u>			
no evidencia	fuente potencial	fuentes obvias	
<b>SEDIMENTO /SUBSTRATO</b>			
<u>Olores en sedimento</u>			
Normal	Residuos	Petróleo	
Químico	Anaeróbico	Otro	
<u>Aceites en sedimento</u>			
Ausentes	Ligero	Moderado	Abundantes
<u>Depósitos</u>			
Lodos	Aserrín	Fibras de papel	Arena
Descargas de aceite	Otros		
<u>Matriz de sedimentos</u>			
Lecho rocoso	Estructura abierta	Estructura de matriz llena en contacto	
Estructura dilatada	Matriz dominante		
<b>AGUA</b>			
<u>Aceites en agua</u>			
Ninguno	Globos	Brillo	Mancha
<u>Olores en agua</u>			
Normal	Residuos	Petróleo	
Químico	Otro		
<u>Turbiedad</u> (Evaluación visual)			
Claro	Leve	Turbia	Opaca
<u>Claridad del agua reducida por</u>			
Material suspendido	Material disuelto		
(lodo, arcilla, Materia orgánica)	(Lixiviados de plantas)		
<b>NOTAS</b>	SE OBSERVO PEQUEÑAS DESCARGAS DOMICILIARES DE AGUAS RESIDUALES. EL TERRENO CIRCUNDANTE PRESENTA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, AUNQUE SE OBSERVA TAMBIEN PASTOS. SE OBSERVA A MORADORES DEL SECTOR UTILIZANDO PESTICIDAS EN CULTIVOS DE PAPAS.		

**FOTOS****DETALLE**

SE OBSERVA LA MARGEN  
IZQUIERDA SIN COBERTURA  
VEGETAL NATURAL.  
LA MARGEN DERECHA PRESEN-  
TA ESCASA VEGETACIÓN  
DE RIBERA.

**DETALLE**

OBSERVAMOS LA PRESENCIA  
DE VIVIENDAS CERCANAS AL  
LECHO DEL RÍO, ASÍ TAMBÉN  
CULTIVOS Y PEQUEÑOS  
ESTABLOS.

**FASE DE LABORATORIO****DATOS GENERALES**

TÉCNICO(S) RESPONSABLE(S) BLGO. GONZALO CÓRDOVA; BLGO. XAVIER IÑIGUEZ

**CLASIFICACIÓN Y ASIGNACIÓN DE PUNTAJE BMWP**

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	# INDIVIDUOS	BM WP
ANNELIDA	OLIGOCHAETA	HAPLOTAXIDA		8	1
ARTHROPODA	MALACOSTRACA	AMPHIPODA	HYALELLIDAE	1	7
ARTHROPODA	INSECTA	EPHEMEROPTERA	TRICORYTHIDAE	12	7
ARTHROPODA	INSECTA	EPHEMEROPTERA	BAETIDAE	17	7
ARTHROPODA	INSECTA	TRICHOPTERA	CALAMOCERATIDAE	1	8
ARTHROPODA	INSECTA	COLEOPTERA	PTILODACTYLIDAE	1	10
ARTHROPODA	INSECTA	COLEOPTERA	ELMIDAE	1	6
ARTHROPODA	INSECTA	COLEOPTERA	STAPHYLINIDAE	1	6
ARTHROPODA	INSECTA	COLEOPTERA	SCIRTIDAE	44	7
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	BLEPHAROCERIDAE	1	10
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	CHIRONOMIDAE	1	2
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	SIMULIIDAE	13	8
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	PSYCHODIDAE	1	7
ARTHROPODA	INSECTA	DIPTERA	DOLICHOPODIDAE	1	4
<b>CALIDAD ACEPTABLE</b>		<b>TOTAL BMWP</b>	<b>90</b>		

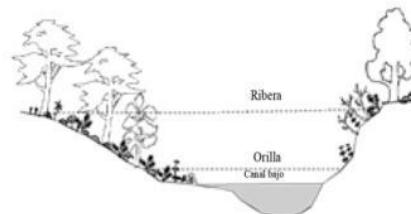


## Hojas de campo para el índice QBR

### ÍNDICE QBR

Hoja de campo  
*Calidad del  
bosque de ribera*

Estación	P 01
Técnico	Gonzalo Córdova / Xavier Iñiguez
Fecha	14 de Septiembre del 2013
Hora	08 h 00



La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25

#### Grado de cubierta de la zona de ribera

Puntuación bloque QBR1

Puntuación		15
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)	
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema natural adyacente es total	
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema natural adyacente es superior al 50%	
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema natural adyacente es entre el 25 y 50%	
-10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema natural adyacente es inferior al 25%	

#### Estructura de la vegetación en la zona de ribera

Puntuación bloque QBR2

Puntuación		10
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %	
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %	
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %	
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %	
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %	
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %	
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque	
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %	
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad	
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %	

#### Calidad de la cubierta

Puntuación bloque QBR3

Puntuación		15
25	Todos los árboles de la zona de ribera nativos	
10	Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidos	
5	26% a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	
0	Todos los árboles de ribera son especies introducidas	
+ 10	Todos los arbustos son de especies nativas	
+ 5	76% o más de los arbustos de especies nativas	
- 5	26% a 75% de la cobertura de arbustos de especies nativas	
- 10	Menos del 25% de la cobertura de los arbustos de especies nativas	

#### Grado de naturalidad del canal fluvial

Puntuación bloque QBR4

Puntuación		15
25	el canal del río no ha estado modificado	
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal	
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	
0	río canalizado en la totalidad del tramo	
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río	
- 10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río	

Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)

QBR – TOTAL 55



## ANEXO 7

## DATOS TOXICOLOGICOS DE LOS PLAGUICIDAS

PLAGUICIDA	Concentración PPB	Concentración MG/L	Concentración: Límite de confianza 95%	Dosis Promedio Diaria Vitalicia: DDPV	Dosis de Referencia Crónica Oral: DIRco	Indice de Peligro: IP	NOAEL: MG/KG DÍA	Dosis Suministrada: MG/KG DIA	Margen de Exposición: ME	Factor de Pendiente: FS	Peso de la Evidencia	Probabilidad del Riesgo de Cáncer: DDPV*FS	Nivel de Riesgo Concentración Permitida: 1 en millón	NIVEL DE RIESGO: MG/L	Dosis Permitida	Incremento de la probabilidad de que se produzca
3 de Abril del 2013																
ESTACION CACHI																
LINDANO	7,55	0,00755	0,0071725	1,4E-07	3,0E-04	4,68E-04	3,0E-01	1,43E-04	2091,3							
CISHEPTACLORO	4,55	0,00455	0,0043225	8,5E-08	1,3E-05	6,51E-03	1,0E-02	8,65E-05	115,7	9,1	2B	7,7E-07	4,0E-03	4,0E-06	8,0E-08	9,6E+00
SUMATORIA	12,1										2B	7,7E-07				
RIESGO TOTAL:						6,97E-03			2207,0							9,6E+00
ESTACION DJ TABACAY																
LINDANO	9,57	0,00957	0,0090915	1,8E-07	3,0E-04	5,93E-04	3,0E-01	1,82E-04	1649,9							
CISHEPTACLORO	5,58	0,00558	0,005301	1,0E-07	1,3E-05	7,98E-03	1,0E-02	1,06E-04	94,3	9,1	2B	9,4E-07	4,0E-03	4,0E-06	8,0E-08	1,2E+01
pp-DDE	61,68	0,06168	0,058596	1,1E-06	2,0E-05	5,73E-02	2,0E-02	1,17E-03	17,1	3,4E-01	2B	3,9E-07	1,0E-01	1,0E-04	2,0E-06	1,9E-01
SUMATORIA	76,83											1,3E-06				
RIESGO TOTAL:						6,59E-02			1761,3							1,2E+01
ESTACION AJ DELEG																
LINDANO	14,72	0,01472	0,013984	2,7E-07	3,0E-04	9,12E-04	3,0E-01	2,80E-04	1072,7							
CISHEPTACLORO	13,1	0,0131	0,012445	2,4E-07	1,3E-05	1,87E-02	1,0E-02	2,49E-04	40,2	9,1	2B	2,2E-06	4,0E-03	4,0E-06	8,0E-08	2,8E+01
pp-DDE	22,55	0,02255	0,0214225	4,2E-07	2,0E-05	2,10E-02	2,0E-02	4,28E-04	46,7	3,4E-01	2B	1,4E-07	1,0E-01	1,0E-04	2,0E-06	7,1E-02
SUMATORIA	50,37											2,4E-06				
RIESGO TOTAL:						4,06E-02			1159,5							2,8E+01
13 de Mayo del 2013																
ESTACION AJ DELEG																
DIAZINON	6,85	0,00685	0,0065075	1,3E-07	9,0E-05	1,41E-03	9,0E-02	1,30E-04	691,5							
PROFENOFOS	592,2	0,5922	0,56259	1,1E-05	7,1E-05	1,55E-01	7,0E-02	1,13E-02	6,2							
SUMATORIA	599,05											697,7				
RIESGO TOTAL:						1,56E-01										



## ANEXO 8

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS PLAGUICIDAS															
PLAGUICIDA	SOLUBILIDAD EN EL AGUA mg/l 20°C		DENSIDAD g/ml	PRESION DE VAPOR mPa 25°C		COEFICIENTE DE PARTICIÓN OCTANOL / AGUA: Kow pH:7, 20°C	CONSTANTE DE ADSORCIÓN SUELO / AGUA: Koc	TIEMPO DE VIDA MEDIA (días) pH: 7; 25°C		CLASIF. IRAC	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA: US EPA	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA: OMS			
	H-t 1/2	P-t 1/2													
Lindano	8,52	Bajo	1,88	4,4	Volátil	3,16 E 3	Alto	1270	Poco móvil	206	4,33	2A	II: Moderadamente Toxicó		
Cisheptacloro epóxido	0,056	Bajo	1,58	53	Volátil	2,75 E 5	Alto	24000	No móvil	No Disponible		2A	II: Moderadamente Toxicó		
pp-DDE	0,12	Bajo	1,402	1,57 E-5 mmHg	3,24 E 6	Alto	50118	No móvil	No Disponible	8,61	2A	NL: No inscrito en Lista	NL: No inscrito en Lista		
Diazinón	60	Moderado	1,11	11,97	Volátil	4,9 E 3	Alto	609	Poco móvil	185	No Disponible	1B	II, III: Mod. Toxicó, Alta Precaución Toxicá		
Profenofos	28	Bajo	1,46	2,53	Volátil	5,01 E 1	Bajo	2016	Poco móvil	14,6	No Disponible	1B	No Disponible		
a-Endosulfan	0,32	Bajo	1,745	8,3	Volátil	5,5 E 4	Alto	11500	No móvil	9,08	No Disponible	2A	I: Peligro Altamente Peligroso		
b -Endosulfan	0,28	Bajo	1,745	2,4 E-5 mmHg	4,2 E 3	Alto	2344	Poco móvil	7,79	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible		
Endosulfan Sulfato	0,48	Bajo	1,94	9,75 E-6 mmHg	4,57 E 3	Alto	5194	No móvil	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible		
d-HCH	DATOS NO IDENTIFICADOS														
Aldrin	0,027	Bajo	1,6	3	Volátil	3,16 E 6	Alto	17500	No móvil	760	4,72	2A	No Disponible		
BHC	0,0047	Bajo	2,044	1,45	Volátil	8,51 E 3	Alto	50000	No móvil	Atamente Persistente		No Disponible	IV: Precaución, no presenta toxicidad aguda		
Fuente: Base de Datos: PPDB	Pesticide Properties Data Base														
Universidad de Hertfordshire															
Fecha de actualización: Agosto del 2013															
Fecha de consulta: 14 de Diciembre del 2013															
Agrochemicals Desk Reference Segunda Edición; John H. Montgomery; 1997															