



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## TITULACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL

**“Evaluación de la calidad del agua del río Yacuambi, en el tramo comprendido desde la formación del río Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe”**

**Trabajo de Fin de Titulación**

**Autora:**

Cueva Velásquez María Fernanda

**Directora:**

Cisneros Abad Mónica Jacqueline M.Sc.

**LOJA - ECUADOR**

**2012**

## Certificación

Ing. M.Sc.

Mónica Jacqueline Cisneros Abad

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE CARRERA

### CERTIFICA:

Que el presente trabajo, denominado **“Evaluación de la calidad de agua del río Yacuambi, en el tramo comprendido desde la formación del río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambi con el río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe”**, realizado por la profesional en formación Cueva Velásquez María Fernanda, cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Septiembre de 2012

f).....

Ing. M.Sc. Mónica Jacqueline Cisneros Abad

C.I:1102439237

## **Cesión de derechos**

“ Yo, Cueva Velásquez María Fernanda, declaro ser autora del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f:.....

Autora: Cueva Velásquez María Fernanda

Cédula: 1104275613

## AUTORÍA

Las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de fin de carrera, son de exclusiva responsabilidad de la autora Cueva Velásquez María Fernanda.

f:.....

Autora: Cueva Velásquez María Fernanda

Cédula: 1104275613

## DEDICATORIA

A mis padres, Gustavo y Juanita, a mis hermanos, Pamela y Gustavo, por sus sabios consejos y por estar a mi lado incondicionalmente en los momentos difíciles.

María Fernanda

## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios**, por haber permitido que llegue hasta este punto importante en mi vida y haberme regalado salud para alcanzar mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

**A mi familia**, por su amor, confianza y apoyo, que me ayudaron a alcanzar mi meta profesional, pero en especial a mis Padres que son mi motivación e inspiración, gracias por ser mi fuerza y ejemplo para culminar esta y demás etapas de mi vida.

**A la Ing. M.Sc. Mónica Cisneros Abad**, directora de tesis, por su gran apoyo y estimulación para la culminación de mi estudio profesional y para la elaboración del presente trabajo, gracias por sus consejos y observaciones.

**A la Universidad Técnica Particular de Loja**, por haberme brindado las herramientas necesarias para culminar mi vida de estudiante e iniciar mi camino como profesional.

María Fernanda

# ÍNDICE

## Índice de contenidos

<b>Prefacio</b>		xv
<b>Capítulo 1 GENERALIDADES</b>		
1.1.	Introducción	1
1.2.	Antecedentes	2
1.3.	Problemática y Justificación	2
1.4.	Objetivos	3
<b>Capítulo 2 CALIDAD DE AGUA</b>		
2.1.	El Agua	4
2.2.	Disponibilidad de agua en el mundo	5
2.3.	Disponibilidad de agua y su calidad en Ecuador	6
2.4.	Organismo rector del agua	10
2.5.	Definición de calidad de agua	11
2.6.	Indicadores que afectan la calidad de agua	12
2.6.1.	Factores físicos	12
2.6.2.	Factores químicos	14
2.6.3.	Factores bacteriológicos	19
2.6.4.	Metales pesados	21
2.6.5.	Pesticidas organoclorados	26
2.6.6.	Pesticidas organofosforados	28
2.7.	Índice de calidad de agua	31
2.7.1.	Índice biológico de calidad de agua	32
2.7.2.	Índice físico químico de calidad de agua	33
2.7.2.1.	Método de Brown (ICG)	33
2.7.2.2.	Método de Provencher y Lamontagne (ICA)	48
2.7.2.3.	Método IQA-MC	57
2.7.2.3.1.	Construcción del índice IQA-MC	57
<b>Capítulo 3 CASO DE ESTUDIO</b>		
3.1.	Ubicación de la subcuenca Yacuambi	63
3.2.	Diseño de la red de monitoreo	65
3.3.	Muestreo	67
3.4.	Ubicación de los puntos de muestreo	69
3.5.	Procedimiento de toma de muestras y transporte	70
3.6.	Parámetros analizados y métodos de análisis	72
3.7.	Resultados de los ensayos	73

3.8.	Análisis de resultados de los ensayos por parámetro	80
3.9.	Cálculo del índice de calidad de agua del río Yacuambi por el método de Brown (ICG)	92
3.9.1.	Cálculo del ICG por muestreo y por punto de muestreo	92
3.9.2.	Cálculo del ICG por parámetro	103
3.9.2.1.	Cálculo del ICG en función de coliformes fecales	103
3.9.2.2.	Cálculo del ICG en función de sólidos totales	104
3.9.2.3.	Cálculo del ICG en función del % de saturación	105
3.9.2.4.	Cálculo del ICG en función del cambio de temperatura	107
3.9.2.5.	Cálculo del ICG en función de la turbidez	108
3.9.2.6.	Cálculo del ICG en función de la DBO5	109
3.9.2.7.	Cálculo del ICG en función de nitratos	110
3.9.2.8.	Cálculo del ICG en función de pH	111
3.9.2.9.	Cálculo del ICG en función de fosfatos	112
3.10.	Cálculo del índice de calidad de agua por el método de Provencher y Lamontagne (ICA)	113
3.11.	Cálculo del índice de calidad de agua por el método IQA-MC	125
<b>Capítulo 4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
4.1.	Comparación de los resultados del índice de calidad de agua de los métodos utilizados por punto de muestreo	141
4.2.	Comparación de los resultados por muestreo	144
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>147</b>
<b>6.</b>	<b>Glosario</b>	<b>149</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>154</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos</b>	
Anexo 1	Anexo fotoGráfico de la toma de muestras y ensayos de laboratorio	159
Anexo 2	Ecuaciones utilizadas	164

## Índice de tablas

1.	Pesos asignados a cada parámetro del ICG	36
2.	Rangos de clasificación ICG	46
3.	Escala de clasificación del índice de calidad del agua para distintos usos	47
4.	Coeficientes de clasificación ICA	55
5.	Coeficientes de clasificación ICA para caso en estudio	56
6.	Rangos de clasificación ICA	56
7.	Pesos asignados a cada parámetro IQA-MC	59
8.	Factores de normalización	61
9.	Rangos de clasificación IQA-MC	62
10.	Puntos de la red de monitoreo	65
11.	Ubicación geográfica de los puntos de muestreo	69
12.	Datos del muestreo	70
13.	Método de análisis de los parámetros	72
14.	Resultados del primer muestreo	73
15.	Resultados del segundo muestreo	75
16.	Resultados del tercer muestreo	76
17.	Resultados del cuarto muestreo	78
18.	Resultados del quinto muestreo	79
19.	Resultados del ICG del primer muestreo	92
20.	Resultados del ICG del segundo muestreo	94
21.	Resultados del ICG del tercer muestreo	96
22.	Resultados del ICG del cuarto muestreo	98
23.	Resultados del ICG del quinto muestreo	100
24.	Resultado del ICG por muestreo	102
25.	Resultado del cálculo del ICG en función de coliformes fecales	103
26.	Resultado del cálculo del ICG en función de los sólidos totales	104
27.	Resultado del cálculo del ICG en función del % de saturación	106
28.	Resultado del cálculo del ICG en función del cambio de temperatura	107
29.	Resultado del cálculo del ICG en función de la turbidez	108
30.	Resultado del cálculo del ICG en función de la DBO5	109
31.	Resultado del cálculo del ICG en función de nitratos	110
32.	Resultado del cálculo del ICG en función del pH	111
33.	Resultado del cálculo del ICG en función de fosfatos	112
34.	Resultados del ICA del primer muestreo	114
35.	Resultados del ICA del segundo muestreo	116

36. Resultados del ICA del tercer muestreo	118
37. Resultados del ICA del cuarto muestreo	120
38. Resultados del ICA del quinto muestreo	122
39. Resultados del ICA por muestreos	124
40. Valores de las variables normalizadas del primer muestreo	125
41. Resultados del IQA-MC del primer muestreo	126
42. Valores de las variables normalizadas del segundo muestreo	128
43. Resultados del IQA-MC del segundo muestreo	129
44. Valores de las variables normalizadas del tercer muestreo	131
45. Resultados del IQA-MC del tercer muestreo	132
46. Valores de las variables normalizadas del cuarto muestreo	134
47. Resultados del IQA-MC del cuarto muestreo	135
48. Valores de las variables normalizadas del quinto muestreo	137
49. Resultados del IQA-MC del quinto muestreo	138
50. Resultados del IQA-MC por muestreos	139
51. Comparación de resultados	141

## Índice de Gráficos

1.	Disponibilidad de agua en el mundo	5
2.	Consumo de agua en Ecuador	9
3.	Indicadores de calidad de agua	12

### MÉTODO DE BROWN (ICG)

4.	Valoración de la calidad de agua en función de coliformes fecales	36
5.	Valoración de la calidad de agua en función de pH	37
6.	Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5	37
7.	Valoración de la calidad de agua en función de nitratos	38
8.	Valoración de la calidad de agua en función del fosfato	38
9.	Valoración de la calidad de agua en función de la temperatura	39
10.	Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez	39
11.	Valoración de la calidad de agua en función de sólidos totales	40
12.	Valoración de la calidad de agua en función de oxígeno disuelto	40
13.	Curva de calidad de coliformes fecales	41
14.	Curva de calidad de sólidos totales	41
15.	Curva de calidad del % de saturación	42
16.	Curva de calidad de cambio de temperatura	42
17.	Curva de calidad de turbidez	43
18.	Curva de calidad de DBO5	43
19.	Curva de calidad de nitratos	44
20.	Curva de calidad de pH	44
21.	Curva de calidad de fosfatos	45

### MÉTODO DE PROVENCHER Y LAMONTAGNE (ICA)

22.	Curva de calidad de nitratos	50
23.	Curva de calidad de sólidos totales	50
24.	Curva de calidad de pH	51
25.	Curva de calidad de oxígeno disuelto	51
26.	Curva de calidad de DQO	51
27.	Curva de calidad de Cond. Eléc.	51
28.	Curva de calidad de DBO5	52
29.	Curva de calidad de coliformes totales	52
30.	Curva de calidad de sulfato	52
31.	Curva de calidad de magnesio	52
32.	Curva de calidad de fenoles	53
33.	Curva de calidad de cianuro	53
34.	Curva de calidad de mercurio	53

35. Curva de calidad de cromo	53
36. Curva de calidad de plomo	54
37. Curva de calidad de cadmio	54
38. Curva de calidad de fosfatos	54
39. Curva de calidad de cloruro	54
40. Variación pH	81
41. Variación turbiedad	81
42. Variación cloruro	82
43. Variación sulfato	82
44. Variación de dureza total	83
45. Variación del nitrato	83
46. Variación de nitrito	84
47. Variación hierro total	84
48. Variación conductividad eléctrica	85
49. Variación fosfato	85
50. Variación oxígeno disuelto	86
51. Variación % de saturación	86
52. Variación sólidos totales	87
53. Variación cloro libre residual	87
54. Variación color real	88
55. Variación aceites y grasas	88
56. Variación DBO5	89
57. Variación DQO	89
58. Variación cianuro	90
59. Variación coliformes fecales	90
60. Variación coliformes totales	91
61. Variación temperatura del agua	91
62. ICG del río Yacuambi del primer muestreo	93
63. ICG del río Yacuambi del segundo muestreo	95
64. ICG del río Yacuambi del tercer muestreo	97
65. ICG del río Yacuambi del cuarto muestreo	99
66. ICG del río Yacuambi del quinto muestreo	101
67. ICG del río Yacuambi	102
68. Variación del ICG en función de coliformes fecales	103
69. Variación del ICG en función de sólidos totales	105
70. Variación del ICG en función del % de saturación	106
71. Variación del ICG en función del cambio de temperatura	107
72. Variación del ICG en función de la turbidez	108
73. Variación del ICG en función de la DBO5	109
74. Variación del ICG en función de nitratos	110

75. Variación del ICG en función del pH	111
76. Variación del ICG en función de fosfatos	112
77. ICA del río del primer muestreo	115
78. ICA del río del segundo muestreo	117
79. ICA del río del tercer muestreo	119
80. ICA del río del cuarto muestreo	121
81. ICA del río del quinto muestreo	123
82. ICA del río Yacuambi	124
83. IQA-MC del río Yacuambi del primer muestreo	127
84. IQA-MC del río Yacuambi del segundo muestreo	130
85. IQA-MC del río Yacuambi del tercer muestreo	133
86. IQA-MC del río Yacuambi del cuarto muestreo	136
87. IQA-MC del río Yacuambi del quinto muestreo	139
88. IQA-MC del río Yacuambi	140
89. Comparación de métodos	143
90. Comparación de los métodos utilizados en el primer muestreo	144
91. Comparación de los métodos utilizados en el segundo muestreo	145
92. Comparación de los métodos utilizados en el tercer muestreo	145
93. Comparación de los métodos utilizados en el cuarto muestreo	146
94. Comparación de los métodos utilizados en el quinto muestreo	146

## Índice de figuras

1. Recursos de agua superficial en Ecuador	7
2. Subcuenca del cantón Yacuambi	64
3. Diseño de la red de monitoreo de la subcuenca Yacuambi	66

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se realizó en el tramo comprendido desde la formación del río Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe. Tomando en cuenta, la ausencia de alcantarillado sanitario, presencia de minería artesanal e inadecuado uso de pesticidas, lo que está ocasionando una variación de la calidad del agua del cauce donde son depositadas éstas aguas sin tratamiento.

Realizando un monitoreo y cinco muestreos en diferentes épocas del año, con esta investigación se determinó la calidad del agua, mediante la comparación del cálculo del índice de calidad de agua de tres métodos, método de Brown (que utiliza nueve variables conocidas como básicas), método de Provencher y Lamontagne (utiliza veinte y tres variables) y el método IQA-MC (utiliza treinta y siete variables), métodos que dan como resultado un valor promedio del índice de calidad de agua de 63 (valor adimensional), limitando su uso en actividades recreativas, con una mayor necesidad de tratamiento para abastecimiento al público y siendo aceptable, excepto para especies acuáticas sensibles.

# CAPÍTULO I

## Generalidades

### 1.1. Introducción

El agua es patrimonio de la humanidad como elemento de la naturaleza y como recurso indispensable para las actividades económico-productivas. Su acceso depende del clima y de los medios para obtener cantidades adicionales de agua, donde la contaminación del agua superficial y subterránea reduce la capacidad de las fuentes aprovechables para diferentes actividades.

El agua está contaminada cuando su composición se altera de modo que no reúne las condiciones necesarias para ser utilizada por los seres vivos, es la acción de añadir al agua algún material, sea de modo directo o indirecto que afecte desfavorablemente su calidad en relación a sus usos posteriores o a sus servicios. En los cursos de agua, los microorganismos descomponedores mantienen siempre igual el nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan estar disueltas en el medio. Este proceso se denomina autodepuración del agua, pero cuando la cantidad de contaminantes es excesiva, ésta es imposible.

Los principales contaminantes del agua son, aguas residuales, agentes infecciosos, nutrientes vegetales, productos químicos incluyendo pesticidas y sustancias tensoactivas, petróleo, minerales inorgánicos y sustancias radioactivas, tomando en cuenta que las diferentes características naturales de una cuenca de drenaje pueden tener un efecto significativo en la calidad de agua, la topografía afecta la velocidad de flujo, las pendientes pronunciadas pueden erosionar la capa superficial de suelo o el margen del río, introduciendo residuos que pueden afectar el color y la turbidez.

## **1.2. Antecedentes**

De acuerdo a los estudios realizados por la Universidad Técnica Particular de Loja y la Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe, “Análisis de Agua en la Cuenca del Río Yacuambi” en el año 2010, se determina que el río Yacuambi, recibe vertidos provenientes de la minería artesanal y de aguas residuales de comunidades asentadas en los márgenes del río, lo que hace necesario un estudio más exhaustivo de esta subcuenca ya que aguas abajo la misma es utilizada para uso doméstico dando como consecuencia la proliferación de enfermedades de origen hídrico.

## **1.3. Problemática y Justificación**

La contaminación del agua perjudica la flora y fauna, afectando de manera directa la cadena alimenticia, por lo tanto surge la necesidad de evaluar el estado de los cuerpos de agua, a fin de generar información que permita plantear medidas apropiadas de manejo para conservarlos en buenas condiciones, por esta razón se escoge el río Yacuambi, tramo comprendido desde la formación del río en Tutupali hasta su intersección con el río Zamora, el cual se ve afectada por diferentes actividades antropogénicas.

Para la evaluación de la calidad del agua se decide calcular el índice de calidad de agua, el cual es un indicador de la eutrofización, la contaminación por nutrientes, la acidificación y la salinización (expresado en unidades adimensionales), mediante la determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y los usos deseados, principalmente, los que puedan afectar la salud humana y la de los sistemas acuáticos, ya que en la actualidad se permiten resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran también aspectos socioeconómicos. Para este efecto se analizaron tres métodos diferentes de cálculo, el índice de calidad de

Brown (ICG) en el que intervienen nueve parámetros, la adaptación de Provencher y Lamontagne (ICA) que analizó diez y siete parámetros, y el IQA-MC construido para el tramo en estudio debido a la caracterización del agua y que consideró en su cálculo veinte y siete parámetros.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

- Evaluar la calidad de las aguas de la subcuenca del río Yacuambi, tramo comprendido entre la parroquia de Tutupali y la intersección con el río Zamora.

### **1.4.2. Específicos**

- Diseñar la red de monitoreo.
- Realizar el muestreo y sus respectivos análisis de laboratorio.
- Analizar estadísticamente e interpretar los resultados de laboratorio.
- Investigar y calcular tres métodos de cálculo del índice de calidad de agua.
- Aplicar índices físicos, químicos y bacteriológicos para determinar la calidad del agua por punto de muestreo y por parámetro del río en estudio.
- Analizar los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO II**

### **Calidad de agua**

#### **2.1. El agua**

Nuestros recursos hídricos han demostrado ser muy fuertes, pero son cada vez más vulnerables y amenazados. El aumento de la población, requiere de mayor cantidad de agua para satisfacer las necesidades vitales. Día tras día, se vierten millones de toneladas de aguas residuales no tratadas y desechos industriales y agrícolas en los sistemas de agua en el mundo. El agua limpia se ha convertido en escasa y lo será aún más con el cambio climático. (Ki-Moon,2012)

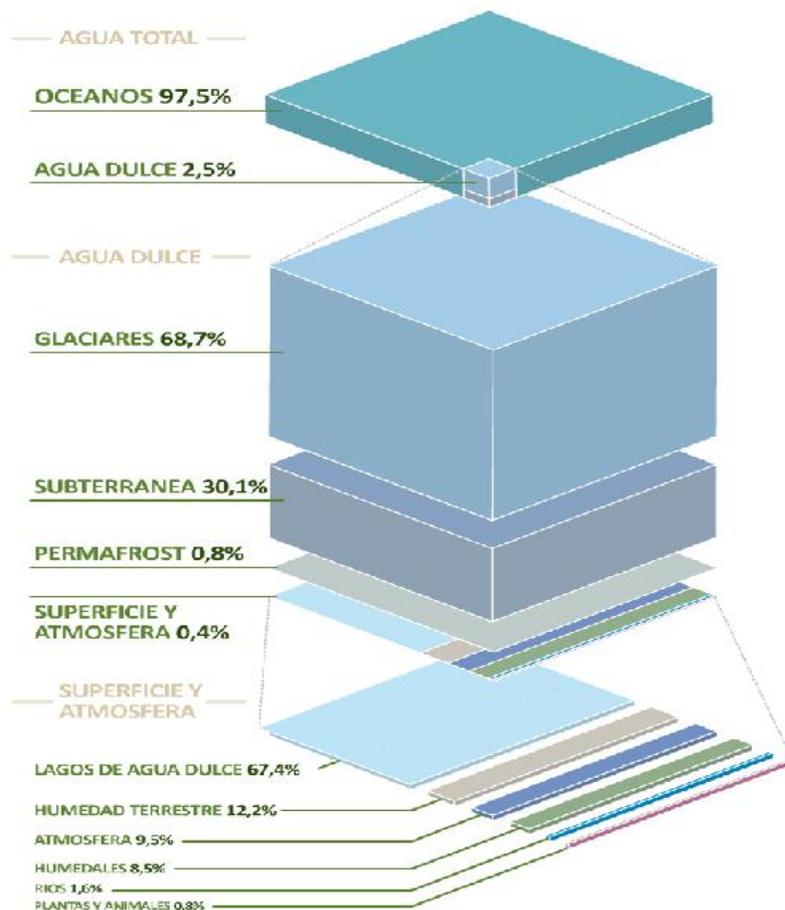
El agua dulce es utilizada para el consumo humano, la irrigación, la industria, recreación, pesquerías y como fuente de biodiversidad. Estos servicios son esenciales para la salud y sobrevivencia de los seres humanos y generalmente su deterioro resulta irremplazable o bien de alto costo, se presenta principalmente como un líquido de características poco comunes, siendo indispensable para la vida, es necesario conocer sus características, usos, situación ambiental actual, y predicciones para proteger este recurso.

La acción humana es drástica para las fuentes tanto superficiales como subterráneas del agua, ya que haciendo uso inapropiado del agua, se genera contaminación mediante vertidos a los cauces naturales que disminuyen la calidad de agua para las actividades diarias de los seres vivos, causando enfermedades a las personas que la consumen, sin darse cuenta que es un recurso que día a día se vuelve escaso.

## 2.2. Disponibilidad de agua en el mundo

Más de dos tercios del planeta Tierra son agua, y de esa cantidad, la mayoría es agua salada ubicada en los océanos, de lo poco que queda mucha no es accesible ya que se encuentra congelada en los polos o forma parte del vapor y la humedad, además de que el agua dulce no está aprovechada en su totalidad para agua potable, en el Gráfico 1 se pueden observar claramente las proporciones y distribuciones.

Gráfico 1. Disponibilidad de agua en el mundo



Fuente: United Nations Environment Programme, 2010

La calidad y reservas de recursos hídricos de agua dulce es uno de los problemas ambientales más grandes que enfrentamos hoy en día ya que los inconvenientes relacionados con el agua afectan la vida de millones de personas. En los próximos años, las dificultades relacionadas con la falta de agua preocuparán realmente a todo el mundo y habrá que invertir mucho dinero en la gestión del agua. Aun así, será difícil mejorar las condiciones de un 33% de la población total mundial que no tiene acceso a fuentes seguras de agua, de las cuales, según la UNESCO el 50% carecen de condiciones sanitarias básicas. El “estrés hídrico” afecta actualmente a 1 700 millones de personas, y se estima que podría afectar a 5 000 millones en el 2025. Las inundaciones y las sequías matan a un mayor número de individuos y crean más daños materiales que ninguna otra catástrofe natural. Actualmente, la comunidad internacional se moviliza para mejorar la gestión y la distribución del agua en el mundo y para asegurar un futuro favorable a las poblaciones amenazadas por la escasez de agua dulce.

La contaminación de ríos, arroyos y acuíferos, reduce la disponibilidad de agua del mundo y compromete el adelanto futuro de muchas sociedades humanas.

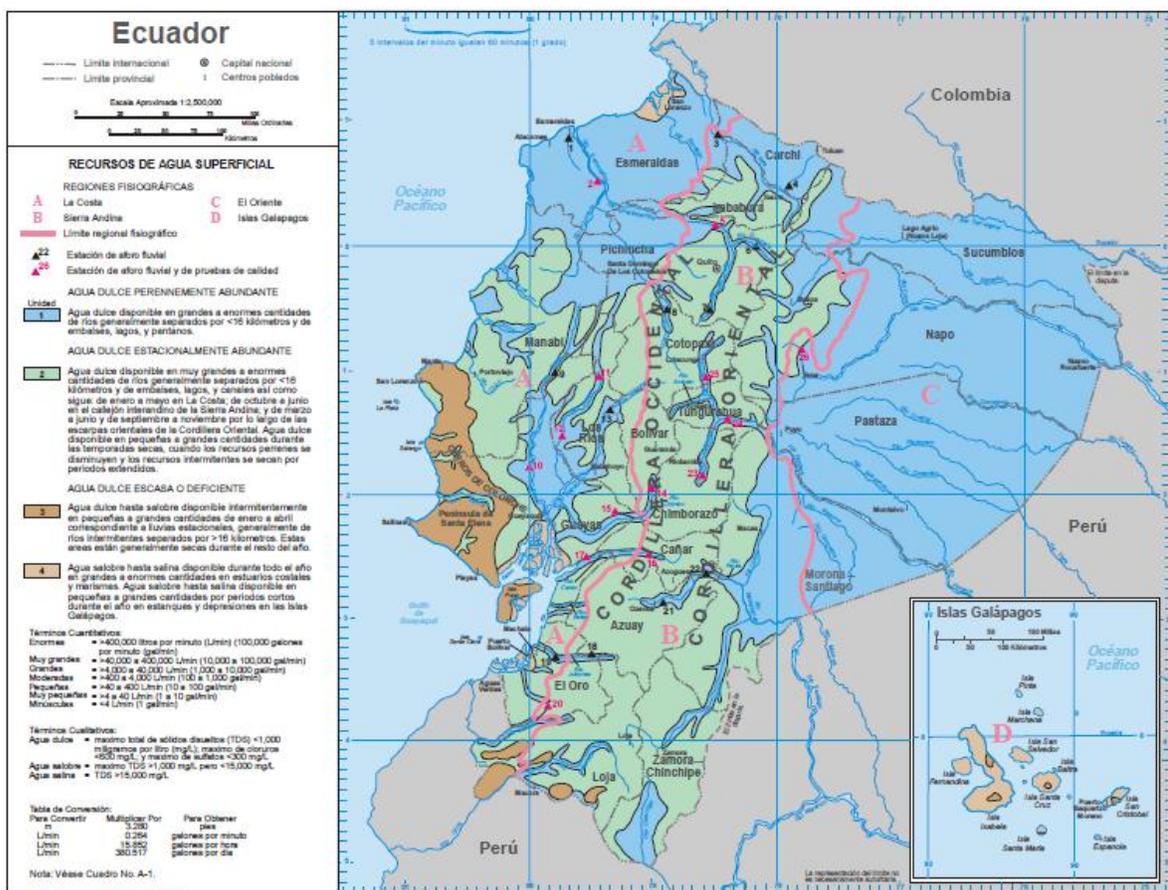
### **2.3. Disponibilidad de agua y su calidad en Ecuador**

Ecuador está situado en la parte noroeste del continente Sud Americano. Sus límites son: al norte con Colombia, al este y al sur con Perú y al oeste con el Océano Pacífico. La superficie total del país incluyendo las Islas Galápagos es de 272 456 km<sup>2</sup>. La Cordillera de los Andes divide naturalmente el territorio ecuatoriano en tres regiones geográficas: La Costa (planicie costera), la Sierra (Cordillera de los Andes) y el Oriente (cuenca Amazónica). La cuarta región es las Islas Galápagos.

La utilización y aprovechamiento de los recursos que presentan las cuencas hidrográficas en el Ecuador, se basa principalmente en las oportunidades para cubrir las necesidades sectoriales y no por una planificación de desarrollo

sustentable, siendo así que algunas actividades antropogénicas que se desarrollan cerca de cuerpos hídricos utilizan agua como un insumo de sus procesos productivos, provocando daños a los recursos naturales, amenazando de esta manera a las personas y a la biodiversidad ecológica, ocasionando graves riesgos para la salud y el equilibrio ambiental. La incorporación al medio ambiente de elementos o condiciones extrañas, en cantidad o calidad, genera un daño, ya sea sanitario, económico, ecológico, social y estético, evidenciando cambios indeseables en las características físicas, químicas y biológicas del agua, aire, suelo, flora, fauna, que puedan incluir de manera diversa en la salud humana y los ecosistemas.

Figura 1. Recursos de agua superficial en Ecuador.



Fuente: SENAGUA, 2010.

Gran cantidad de aguas residuales proceden de drenajes municipales de las diferentes ciudades del país, aportando contaminantes como grasas y aceites, detergentes, materia orgánica y varios microorganismos parásitos, las aguas residuales agrícolas en gran parte del territorio nacional, se caracterizan por sus elevados contenidos de fosfato y nitratos procedentes de una amplia gama de plaguicidas, pesticidas y agentes biocidas en general.

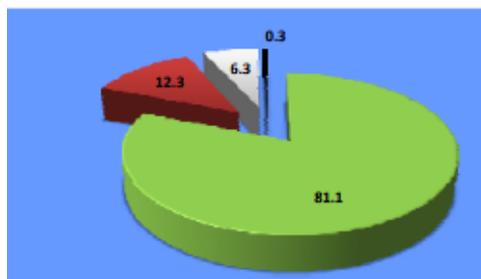
La deforestación y las inadecuadas prácticas del uso del terreno han acelerado la erosión de la tierra, incrementando las cargas de sedimentos en los ríos y arroyos, disminuyendo considerablemente la capacidad de almacenamiento de muchas de las represas e induciendo importantes cambios geomórficos en la mayoría de los arroyos, como la minería, que además de producir erosión del suelo, incorpora a las fuentes de agua, metales pesados, que afectan a la salud humana, flora y fauna.

Casi todos los ríos del país cercanos a las áreas urbanas tienen altos niveles de nitrógeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y fósforo. También agua de salobre a salina es encontrada en lagunas costeras y en los deltas de los ríos. La contaminación del agua está eliminando muchos recursos de agua potenciales existentes debido a que la mayoría de la contaminación proviene de desperdicios domésticos, químicos agrícolas (especialmente a lo largo de la costa) y la producción de petróleo en la cuenca del Amazonas. (Paredes,2008)

Se podría afirmar entonces que la mayoría de habitantes no tienen acceso a una fuente de agua segura, las enfermedades por aguas contaminadas matan a millones de niños al año y el 20% de todas las especies acuáticas de agua fresca están extintas o en peligro de desaparecer.

En Ecuador, de cada 100 litros de agua, se consumen el 81,1 % en agricultura (riego), el 6,3 % en industria, 12,3 % en uso doméstico y el 0,3 % en otros usos como se indica en el Gráfico 2.

**Gráfico 2. Consumo de agua en Ecuador**



**Fuente: SENAGUA, 2010**

Desde el año 2000 se han realizado algunas investigaciones sobre la calidad de agua en el Ecuador, entre las principales se tiene:

- La FUNDACYT (Fundación Nacional de Ciencia y Tecnología) en el año 2000 realizó estudios de calidad de agua como medio para determinar su influencia en la productividad camaronera en la provincia de El Oro.
- En el año 2002, se ejecutó el proyecto de caracterización de la calidad de las aguas y sedimentos del río Atacames.
- En el año 2007 se hizo el estudio comparativo de la calidad del agua en el área marino costera de Bahía Academia, Caleta Aeolian y Puerto Villamil de las Islas Galápagos.
- Se realizó el diagnóstico y plan de monitoreo de la calidad del agua en las áreas de interés hídrico de los cantones Celica, Pindal, Puyango y Macará de la provincia de Loja, por parte de la fundación Naturaleza & Cultura en el año 2009.
- En el año 2011 se hizo el estudio de la calidad de agua en los cantones San Lorenzo y Eloy Alfaro, provincia de Esmeraldas.
- La Senagua (Secretaría Nacional del Agua) en el año 2012, realizó el estudio técnico: “Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del río coca”
- De igual forma la Senagua continúa con la construcción de la red nacional de monitoreo de la calidad del agua.

- El centro zonal Tena y dirección de calidad de agua analizan la subcuenca del río Anzu y se realizan monitoreos permanentes de los ríos pertenecientes a la cuenca del Pastaza; entre otros.

## **2.4. Organismo rector del agua en Ecuador**

Mediante Decreto ejecutivo 1088 promulgado el 15 de mayo del 2008, por el presidente Rafael Correa, que en su artículo 1 señala lo siguiente: "Reorganícese el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) mediante la creación de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), como una entidad de derecho público, adscrita a la presidencia de la república, con patrimonio y presupuesto propios, con independencia técnica, operativa, administrativa y financiera, y domicilio en la ciudad de Quito" con la finalidad de conducir los procesos de gestión de los recursos hídricos de una manera integrada y sustentable en los ámbitos de cuencas, subcuencas, micro cuencas o demarcaciones hidrográficas e hidrogeológicas de acuerdo a la Ley de Aguas.

Entre las principales competencias de la SENAGUA, se tiene:

- Ejercer la rectoría nacional en la gestión y administración del recurso agua;
- Establecer las políticas que deben regir la gestión del agua y determinar las normas y regulaciones necesarias para su aplicación;
- Formular el Plan Nacional de gestión del Agua y asegurar que los proyectos y programas de aprovechamiento y manejo de los recursos hídricos sean coherentes con el Plan Nacional de Desarrollo y sus actualizaciones;
- Establecer las políticas de recuperación del uso del agua, mediante tarifas;
- Dictar normas para el manejo de cuencas hidrográficas en lo concerniente a los recursos hídricos;
- Formular estudios y desarrollar acciones encaminadas al fortalecimiento permanente del sistema institucional encargado de la gestión integrada del agua;

- Ejercerá las competencias que la Ley de Aguas otorgaba el Consejo Consultivo de Aguas; y,
- Formular programas y acciones para asegurar la disponibilidad del agua en sus fuentes a través de políticas de protección y conservación aplicadas a cuencas hidrográficas y acuíferos;
- Establecer con universidades, escuelas politécnicas y la Secretaría Nacional de Ciencia y tecnología un sistema articulado de apoyo a los programas de formación e investigación en temas de manejo y gestión de recursos hídricos.

En general, asumirá todas las competencias, representaciones y delegaciones atribuidas al Consejo Nacional de Recursos Hídricos, con excepción a las que por su naturaleza corresponden al Instituto Nacional de riego, la norma vigente que maneja la secretaría nacional del agua, es la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua”, Libro VI, Anexo 1.

## **2.5. Definición de calidad de agua**

El concepto de calidad de agua es usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua, la calidad de un cuerpo de agua puede estar definida no sólo en términos de las características y requerimientos del sistema hídrico que suministra el agua, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo receptor.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como:

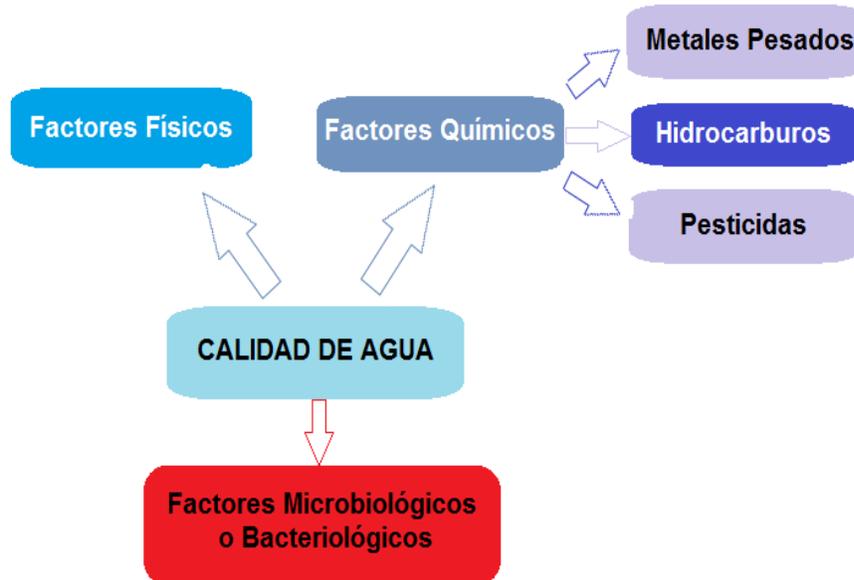
- Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas.
- La composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua.

- La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.

## 2.6. Indicadores que afectan la calidad de agua

Es un indicador aquel parámetro cuya concentración en el agua se debe a la presencia e interacción de varias sustancias.

Gráfico 3. Indicadores de calidad de agua



Fuente: Autora

### 2.6.1. Factores físicos

Se denominan factores o parámetros físicos a aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

Los siguientes factores o parámetros que se detallan son analizados tanto in situ como en laboratorio.

- **Turbiedad**

Es la decreciente habilidad del agua para transmitir la luz. Es causada por materia particulada en suspensión con dispersión desde muy pequeña hasta muy gruesa.

La turbidez y el color puede resultar de:

- partículas: arcillas, sedimentos por escurrimiento,
- materia orgánica: que es materia vegetal en descomposición,
- plancton: por presencia de fertilizantes.

Son importantes especialmente en acuicultura, nutrición, alcalinidad total, dureza total, son factores que regulan a las plantas.

La turbidez regula la entrada de luz; la presencia por consiguiente de nitritos, nitratos, amonio, etc. Se mide en UTN (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

Color aparente: es producto de suspensiones no naturales que interfieren con la calidad del agua.

Color verdadero: es el color causado por materia suspendida a nivel coloidal, propio de esa agua. Se mide en unidades de color.

- **Temperatura del agua**

Se mide en °C y varía en pequeños rangos durante el día debido a la elevada capacidad calorífica de la misma. En cuerpos de agua profundos las capas inferiores no presentan cambios significativos en la temperatura, las capas

afectadas son las superficiales con variaciones de hasta 25°C, afecta a las reacciones químicas, velocidades de reacción, vida acuática, etc.

- **Sólidos totales**

El término sólidos hace referencia a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso, originan la formación de lodos y facilitan las condiciones anaerobias, por lo tanto se puede decir que es la cantidad de materia que queda como residuo después de una evaporación entre los (103 a 105) °C.

Existen varios tipos de sólidos, entre ellos, sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos fijos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos fijos, sólidos disueltos totales, sólidos disueltos volátiles, sólidos disueltos fijos, sólidos sedimentables. Se mide en mg/l.

### **2.6.2. Factores químicos**

Se define como sustancia, factor o parámetro químico a aquel que se debe por la presencia o interacción de varias sustancias ya sean internas o externas.

- **pH**

Origina cambios en la fauna y flora de los cuerpos de agua, ejerce influencia sobre la toxicidad de compuestos como el amoníaco, metales pesados, etc.

Las medidas de pH se realizan con un electrodo de vidrio, el cual genera un potencial que varía linealmente con el pH de la solución en la que está inmerso. Su unidad es adimensional.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, esta alcalinidad la va adquiriendo del agua de suministro, del agua subterránea y de materias añadidas durante el uso doméstico. Es un factor que se relaciona directamente con su capacidad de amortiguamiento, es decir, con la capacidad de esta para resistir los cambios bruscos del pH. Se mide en mg/l.

- **Cloruro**

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.

El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl.

El cloruro es esencial en la dieta y pasa a través del sistema digestivo, inalterado. Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras. Se mide en mg/l.

- **Sulfatos**

El sulfato ( $\text{SO}_4$ ) se encuentra en casi todas las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia. Se mide en mg/l.

- **Dureza total**

La dureza corresponde a la suma de las concentraciones de cationes metálicos excepto los metales alcalinos y el ion hidrógeno. En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces también se unen hierro, aluminio, manganeso y estroncio. Se mide en mg/l.

- **Nitrato**

El nitrato es un compuesto inorgánico compuesto por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es  $\text{NO}_3$ . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito ( $\text{NO}_2$ ).

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc., son parte esencial de los abonos, muchas plantas acumulan los nitratos en sus partes verdes y si se aprovechan como alimentos cocidos existe peligro de que otros organismos los conviertan en nitritos por reducción, que a su vez producen nitrosaminas que son cancerígenas.

Los nitratos orgánicos son ésteres del ácido nítrico con alcoholes, el más conocido es la nitroglicerina. Se mide en mg/l.

- **Nitrito**

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, debe tener un cuidadoso control, ya que son tóxicos para los peces y cancerígenos para el ser humano. Se mide en mg/l.

- **Hierro Total**

Aguas con altos contenidos de este metal, al entrar en contacto con el aire, se puede precipitar, originando sólidos sedimentables, y coloración en las aguas. Su presencia imposibilita el uso del agua en algunas actividades industriales y posibilita el crecimiento de las bacterias del hierro (crenotherix), que causan taponamiento en las tuberías de acueducto. Se mide en mg/l.

- **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto, es aquel que está disuelto en el agua, lográndose por difusión del aire del entorno, la aireación del agua ha caído sobre saltos o rápidos; y como un producto de desecho de la fotosíntesis.

Es una de las pruebas más simples e importantes, para determinar por su concentración la contaminación de corrientes o los cuerpos de agua. Es una de las condiciones más importantes para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos. Se mide en mg/l.

- **Cloro libre residual**

El cloro residual libre es la cantidad de cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o en forma de ion hipoclorito, y el cloro residual combinado es el que se produce en la combinación con amonio, es decir, las cloraminas. El cloro residual combinado solo se puede formar cuando el agua tiene amoníaco y productos orgánicos. Hay que añadir que el cloro de esta forma es un agente oxidante más débil y su acción bactericida es más lenta. Se mide en mg/l.

- **Aceites y Grasas**

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y

espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual. (Toapanta, 2010, pg. 3)

Las grasas animales y los aceites vegetales son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos, por cual, por medio de las aguas residuales llegan a los cauces naturales afectando la calidad del agua debido a su difícil biodegradabilidad, ya que interfieren el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, no permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua. Se mide en mg/l.

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

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua, además es usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20°C). Se mide en mg/l.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se define como la cantidad de oxígeno consumido por las materias oxidables en las condiciones de ensayo, contenidas en un litro de agua. Esta refleja el consumo de oxígeno en la oxidación química de la materia orgánica.

Estima el grado de polución de las aguas negras y de los desechos industriales, que contienen cantidades apreciables de materia orgánica, varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Se mide en mg/l.

- **Cianuros**

Su presencia tiene un efecto de significación sobre la actividad biológica del sistema. Los organismos causantes de auto purificación de los cuerpos de aguas son inhibidos por un contenido de 0,3 mg/l de CN<sup>-</sup>. Su toxicidad aumenta cuando se asocia a variables tales como temperatura, pH, OD y la concentración de ciertas sustancias minerales. Se mide en mg/l.

- **Conductividad eléctrica**

Estima el contenido en sales de la muestra. El contenido en sales determina el uso que se le puede dar a un agua residual depurada. Es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego.

La medida se realiza empleando un conductímetro que establece una diferencia de potencial entre dos electrodos y mide la conductividad eléctrica de la muestra, la cual es directamente proporcional a la concentración de iones. La conductividad eléctrica se emplea como medida de la salinidad, así las aguas superficiales que tienen una concentración menor de sales que las aguas subterráneas, presentan menor conductividad, las aguas de mar debido a su alto contenido mineral, tienen una conductividad mayor. Se mide en  $\mu\text{s/cm}$ .

### **2.6.3. Factores bacteriológicos**

Los factores o parámetros bacteriológicos o microbiológicos se deben a los microorganismos presentes en el agua, y pueden ser o no patógenos, pudiendo causar enfermedades a los seres vivos ya sea por contacto directo o por ingestión.

Entre los microorganismos más importantes presentes en el agua están, las bacterias, virus, algas, hongos y protozoos, causantes de enfermedades como el

cólera, la gastroenteritis, fiebre tifoidea, disentería, parasitismo, hepatitis A, conjuntivitis, entre otras.

- **Coliformes Totales**

Son bacterias de morfología bacilar, aerobias o anaerobias facultativas, no formadoras de endosporas y fermentan la lactosa con producción de ácido y gas, su definición no está basada en criterios taxonómicos estrictos sino en reacciones bioquímicas específicas o en la apariencia de colonias características en medios selectivos o diferenciales, presentan una tasa de supervivencia inferior a la de los microorganismos patógenos.

La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales. Se mide en UFC/ 100 ml.

- **Coliformes Fecales**

Estas bacterias cumplen todas las características definidas para coliformes totales pero además, son termotolerantes, son microorganismos que se encuentran en el tracto intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente y son eliminados a través de la materia fecal, por lo tanto, al carecer de un sistema de alcantarillado y tratamiento, ésta materia fecal entra en contacto con el agua alterando significativamente su calidad.

Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales. Se mide en UFC/ 100 ml.

- **Escherichia Coli**

Regularmente vive en el intestino del hombre y de los animales y no suele causar ningún tipo de problema, es necesaria para el correcto funcionamiento del proceso digestivo. Sin embargo, por intercambio de material genético puede provocar infecciones y diarreas sangrantes, a través del consumo de alimentos y agua contaminada, por lo general, los animales contaminan los productos y el ambiente en el que viven, por medio de la dispersión de sus heces en el agua. Se mide en UFC/ 100 ml.

#### **2.6.4. Metales pesados**

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y toxicidad para los seres humanos, se utiliza para nombrar a elementos puros o a aleaciones con características metálicas. Entre las diferencias con los no metales, puede mencionarse que los metales disponen de baja energía de ionización y baja electronegatividad.

- **Bario**

Elemento químico, Ba. El bario ocupa el decimoctavo lugar en abundancia en la corteza terrestre, en donde se encuentra en un 0,04%, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos. Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario.

Se utiliza en la fabricación de aleaciones para las piezas de níquel-bario del sistema de encendido de automóviles y en la fabricación de vidrio, cerámica y tubos de imagen de televisores, tiene un uso limitado y presenta riesgo de explosión, es sumamente tóxico, llega a los cauces naturales por medio de las aguas residuales o por los desperdicios que son arrastrados por las lluvias o el viento. Se mide en mg/l.

- **Mercurio**

Elemento químico Hg. El mercurio inorgánico se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro, como mineral de cinabrio, que tiene un contenido medio de mercurio del (0,1 al 4,0) %. Se encuentra también en la corteza terrestre en forma de geodas de mercurio líquido como esquistos y pizarras impregnadas.

Los principales usos de los compuestos orgánicos de mercurio dependen de su actividad biológica. Los compuestos de mercurio se utilizan como germicidas, fungicidas, herbicidas, conservadores de pintura, ceras y pastas, su ingestión produce inflamación del tracto gastrointestinal. Se mide en mg/l.

- **Plomo**

Elemento químico Pb. El plomo se encuentra presente en un gran número de minerales, siendo la forma más común el sulfuro de plomo. El plomo es un metal suave y muy resistente a la corrosión. Es muy abundante y se extrae de la galena muy fácilmente. Siendo el plomo un elemento tóxico no esencial con capacidad de bioacumulación, afecta prácticamente a todos los órganos y/o sistemas del organismo. Los sistemas más sensibles al metal son el nervioso y cardiovascular.

Aproximadamente un 40% del plomo se utiliza en forma metálica, un 25% en aleaciones y un 35% en compuestos químicos, los óxidos de plomo se utilizan en las placas de las baterías eléctricas y los acumuladores, en la fabricación de pinturas y como componentes de barnices, esmaltes y vidrio. Se mide en mg/l.

- **Cadmio**

Elemento químico Cd. La toxicidad del cadmio es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tiene para formar macromoléculas remplazando otros metales que desempeñan un papel importante en la actividad enzimática.

El cadmio causa daños en los riñones y en las enzimas e interfiere en el sistema hormonal. También la afinidad del cadmio con el grupo sulfidril conduce a la formación de proteínas de cadena corta.

Se utiliza para su electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. Los tornillos, las tuercas de seguridad, los pestillos y diversas partes de los aviones y vehículos de motor están tratados con cadmio para protegerlos de la corrosión. Las baterías pequeñas, portátiles y recargables de cadmio que se utilizan, por ejemplo en teléfonos móviles son cada vez mayores, por lo cual su llegada al cauce natural se hace cada vez más fácil. Se mide en mg/l.

- **Cromo**

El cromo (Cr) es usado en síntesis en la industria del acero, en galvanoplastia, en el curtido del cuero, en la estampación de telas y como anticorrosivo en radiadores, se encuentra tal como es en la naturaleza, teniendo más facilidades de llegar al cauce.

La evaluación nutricional del cromo se dificulta por el hecho de que no todo se encuentra presente en los alimentos, en una forma biológicamente activa. La bioasimilación del cromo inorgánico en ellos es muy baja.

La manifestación principal del envenenamiento con cromo es la irritación o corrosión. Se mide en mg/l.

- **Arsénico**

Elemento químico As. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, los minerales con mayores concentraciones son los arseniuros de cobre, plata, plomo, oro y sulfuros de arsénico, aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas.

El compuesto de arsénico más utilizado, el trióxido de arsénico y es un subproducto de la fundición de minerales de cobre y plomo.

La exposición prolongada del arsénico tanto en la población general como en los trabajadores puede provocar lesiones específicas en la piel (cáncer en la piel, cáncer del pulmón).

La exposición crónica del arsénico en el agua de bebida causa lesiones y los niveles de concentración de arsénico en orina, sangre, cabello y uñas se consideran como marcadores de exposición. La cuantificación del arsénico en la orina es el mejor de estos indicadores. Se mide en mg/l.

- **Magnesio**

El magnesio (Mg) no se encuentra en estado puro en la naturaleza, sino en forma de dolomita, magnesita, brucita, periclasa, carnalita o kieserita. Se utiliza en la fabricación de instrumentos de precisión, espejos ópticos, se emplea en pirotecnia, bengalas y en los bulbos de los flash.

El contenido de dureza está asociado al contenido de magnesio, la formación de incrustaciones y propiedades corrosivas del agua, pudiendo afectar el aparato respiratorio del ser humano. Se mide en mg/l.

- **Aluminio**

El aluminio (Al) es el metal más abundante en la corteza terrestre y está presente en el ambiente combinado con otros elementos, la exposición por lo general no es dañina, pero la exposición a altos niveles puede causar serios problemas para la salud.

Los minerales principales asociados al aluminio son la bauxita y óxidos de aluminio que son usados como abrasivos. Se usa en intercambiadores de calor y

en materiales de construcción. El sulfato de aluminio se utiliza en la potabilización del agua como floculante.

Se usa principalmente en la fabricación de cables e hilos conductores, en la construcción en la elaboración de estructuras y marcos de ventanas, una de las aplicaciones más importantes de la hoja de aluminio es la fabricación de envases para bebidas o alimentos, en tanto que el papel de aluminio se utiliza para empaquetar. Se mide en mg/l.

- **Níquel**

El níquel (Ni) se utiliza principalmente en la producción de acero inoxidable y de aleaciones de níquel. Los alimentos son la principal fuente de exposición al níquel en personas no fumadoras y no expuestas al níquel por motivos laborales; la contribución del agua a la ingesta diaria total por vía oral es poco importante. No obstante, en lugares con gran contaminación, en zonas con movilización de níquel de origen natural en aguas subterráneas o donde se utilizan ciertos tipos de recipientes para hervir agua, materiales no resistentes en pozos o agua que haya estado en contacto con grifos recubiertos de níquel o cromo, la contribución del agua a la ingesta de níquel podría ser significativa. Se mide en mg/l.

- **Cobre**

El cobre (Cu) está ampliamente distribuido en todos los continentes en forma de depósitos naturales de cobre metálico y forma parte de la mayoría de los organismos vivos.

Debido a sus propiedades eléctricas, más del 75% del cobre que se produce se utiliza en la industria eléctrica. A pesar de que en los trabajos químicos de referencia se indica que las sales de cobre son tóxicas, en la práctica esto sólo es

cierto cuando las disoluciones se utilizan de forma incontrolada, con fines suicidas o como tratamiento tópico de áreas con quemaduras graves. Se mide en mg/l.

### **2.6.5. Pesticidas organoclorados**

Los organoclorados conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga. Su origen se remonta a la fabricación del DDT (diclorodifeniltricloroetano) en 1943. Su acción, como casi todos los insecticidas, es a nivel del sistema nervioso, generando alteraciones de la transmisión del impulso nervioso.

Los organoclorados son, en esencia, hidrocarburos con alto contenido de átomos de cloro y fueron los insecticidas más criticados por los grupos ecologistas. El DDT fue casi un símbolo de veneno químico, debido a su difícil degradación y su gran acumulación en el tejido animal, característica ésta que comparte con los demás integrantes del grupo. Aldrín, clordano, dieldrín, endrín, heptacloro, HCH (hexaclorociclohexano), lindano y toxafeno son organoclorados integrantes de la llamada “docena sucia” que engloba a aquellos pesticidas que más problemas ambientales han generado. Actualmente los organoclorados están prohibidos en Argentina y en casi todo el mundo y para casi todos los usos, debido a sus problemas de acumulación, a su alta estabilidad química, su gran estabilidad a la luz y su difícil degradación biológica. En algunos casos inclusive, se ha comprobado que son carcinogénicos y mutagénicos.

Entre los principales se tiene:

- **Aldrín**

Aldrín y dieldrín son los nombres técnicos de dos compuestos estructuralmente similares que se usaron como insecticidas. Ambos son sustancias químicas manufacturadas y no están naturalmente en el ambiente. Se mide en mg/l.

- **Beta HCH**

El beta-HCH es el isómero más persistente del hexacloro ciclo hexano. Debido a sus propiedades fisicoquímicas, tiene posibilidades de bioacumularse. Su clasificación como posible carcinógeno humano debe ser motivo de especial preocupación. Se mide en mg/l.

- **4-4 DDT y 2-2 DDT**

Es incoloro y cristalino. Es muy soluble en las grasas y en disolventes orgánicos, y prácticamente insoluble en agua. El DDT fue excluido de la lista de sustancias activas autorizadas para el uso en productos de protección de plantas en 1969 bajo la Ley, en muchos países, para protección de plantas contra plagas y pestes. Actualmente está prohibida la producción, uso y comercialización de todos los productos de protección de plantas que contengan DDT. Se mide en mg/l.

- **Heptacloro**

Heptacloro es un insecticida de contacto no sistémico que se ha usado contra insectos del suelo, principalmente, las termitas. También se ha usado en algodón, contra la langosta y para combatir el paludismo. Es muy insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos. Se volatiliza con facilidad y en consecuencia una fracción se desplaza a la atmósfera. Se liga con sedimentos orgánicos y se concentra en la grasa de los organismos. Heptacloro es metabolizado por los animales en epóxido de heptacloro, que tiene una toxicidad parecida y se acumula en la grasa. Se mide en mg/l.

- **Alfa HCH**

El alfa-HCH es estable en presencia de la luz, altas temperaturas, agua caliente y acidez, pero se puede desclorar en presencia de un pH elevado. Con un pH 8 y 5°C, el período de semi desintegración hidrolítica estimado del alfa-HCH es de 26 años. Se mide en mg/l.

- **Metoxicloro**

El metoxicloro es una sustancia química manufacturada que no ocurre naturalmente en el ambiente. El metoxicloro puro es un polvo amarillo pálido con leve olor rancio a frutas. Es usado como insecticida contra moscas, mosquitos, cucarachas, larvas de ácaros y una gran variedad de otros insectos. Se usa en cosechas agrícolas y ganado, y en graneros, depósitos de cereales, jardines domésticos y en animales domésticos.

No se disuelve fácilmente en el agua. Una vez en el agua, se adhiere a sedimentos y se deposita en el fondo. El metoxicloro es degradado lentamente en el aire, el agua y el suelo por la luz solar y organismos microscópicos. Esto puede tardar varios meses. Se mide en mg/l.

#### **2.6.6. Pesticidas organofosforados**

Estos compuestos hacen referencia a un grupo de insecticidas que actúan sobre la enzima acetilcolinesterasa (el grupo de pesticidas de los carbamatos también actúa sobre esta enzima pero a través de un mecanismo diferente). Estos pesticidas inactivan irreversiblemente la acetilcolinesterasa, esencial para el sistema nervioso en, humanos, insectos y otros animales. Los pesticidas organofosforados presentan una variación enorme en su capacidad para afectar a esta enzima y de este modo en su potencial de envenenamiento. Por ejemplo, el parathion, uno de los primeros organofosforados descubiertos, es en muchas ocasiones más potente que el malatión, un insecticida usado para combatir la mosca de la fruta Mediterránea y el Virus del Nilo del Oeste transmitido por los mosquitos.

Los pesticidas organofosforados tienden a degradarse rápidamente cuando se exponen a la luz, el aire y el suelo aunque pequeñas cantidades pueden persistir y terminar en la comida y en el agua potable. Su capacidad de degradación hace de estos compuestos una interesante alternativa para los persistentes pesticidas organoclorados. Mientras que los pesticidas organofosforados se degradan más

rápido que los organoclorados, éstos tienen una toxicidad mucho más aguda planteando riesgos para los agricultores, los aplicadores de pesticidas y cualquiera que se exponga a cantidades importantes de estos compuestos.

- **Fonofos**

Líquido amarillo claro, con olor aromático. Su densidad relativa es de (1,16 a 25) °C. Su solubilidad en agua es de 15,7 mg/l a 20 °C. Es miscible con acetona, etanol, keroseno, metil isobutil cetona y xileno. Su presión de vapor es de 45 mPa ( $3,38 \times 10^{-4}$  mm Hg) a 25 °C. Esta sustancia se hidroliza en contacto con ácidos o álcalis fuertes.

Es extremadamente tóxico para insectos (abejas) y altamente tóxico para aves, peces de agua dulce y organismos marinos. En diferentes especies de aves se han descrito los siguientes síntomas de intoxicación: pérdida de peso corporal, disminución en el consumo de alimento, hiperexcitabilidad, rigidez, inmovilidad, incapacidad para pararse, ataxia, debilidad en las alas, convulsiones y muerte. Se mide en mg/l.

- **Fenamifos**

Cristales incoloros. Su punto de fusión es igual a 49,2 °C. Su densidad relativa es igual a (1,191 a 23) °C. Su solubilidad en agua es igual a 329 mg/l. Es soluble en diclorometano, isopropanol y hexano. Tiene una presión de vapor igual a  $1 \times 10^{-4}$  mm Hg a 25 °C. Esta sustancia en combustión forma gases tóxicos y corrosivos.

Es extremadamente tóxico para crustáceos. Su toxicidad varía de alta a extremadamente alta para aves y de moderada a extremadamente alta para peces y zooplancton. Prácticamente no es tóxico para abejas. Se mide en mg/l.

- **Quinalfos**

Su toxicidad varía de alta a extremadamente alta para crustáceos y de moderada a alta para peces. Es moderadamente tóxico para anfibios, equinodermos y moluscos. Este compuesto está siendo estudiado como posible disruptor endocrino. Se mide en mg/l.

- **Malation**

El malation es un insecticida y acaricida organofosforado con una toxicidad moderada para los mamíferos, es un inhibidor indirecto de la colinesterasa y tiene moderadamente persistencia. El malatión es rápidamente hidrolizado a un pH superior a 7,0 o menor de 5,0 pero es estable en una solución buffer a pH 5,26. Es incompatible con pesticidas alcalinos y es corrosivo para el hierro.

La sustancia puede absorberse en el cuerpo por inhalación, a través de la piel y por ingestión. Respecto a la inhalación, la evaporación a 20°C es despreciable pero una concentración peligrosa de partículas aerotransportadas durante el rociado puede, sin embargo, ser perjudicial. Se mide en mg/l.

- **Dimetoato**

El dimetoato es un insecticida organofosforado usado para controlar una amplia gama de insectos en la agricultura, así como la mosca común. Su periodo de semi degradación oscila entre 18 horas y 8 semanas y no es previsible que perdure en el agua, aunque es relativamente estable a pH de 2 a 7. Se ha calculado que la ingesta diaria total procedente de los alimentos es de 0,001 µg/kg de peso corporal. Se mide en mg/l.

- **Carbofenotion**

Usos: control de áfidos, ácaros, lepidópteros y otros insectos en varios cultivos.

Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: inmóvil. Volatilidad: moderada. Bioacumulación: alta. Observaciones: tiene bajo potencial de lixiviación. Tiene varios productos de degradación, aquellos con grupos sulfona y sulfoxido pueden tener mayor movilidad en el suelo. Se mide en mg/l.

## **2.7. Índice de calidad de agua**

Un índice de calidad del agua (ICA) expresa cuantitativamente la calidad del agua en un determinado lugar y tiempo en función de varios parámetros de calidad del agua.

El objetivo de un índice es convertir los complejos datos de calidad del agua en la información que sea evidente y utilizable por el público.

Se define como índice de calidad de agua a la expresión matemática que se calcula considerando los siguientes aspectos:

- Aspectos físico-químicos.- Que son aquellas concentraciones, especies y tipos de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua.
- Aspectos biológicos.- Son aquellos que se determinan de acuerdo a su composición y estado de la biota acuática.
- Aspectos no acuáticos.- los cambios temporales y espaciales que son debidos a los factores intrínsecos y externos al sistema acuático en estudio.

Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información y tomar decisiones sobre el estado del agua, ya que rápidamente se puede tener una idea clara de la situación que expresa el índice como contaminación excesiva, media o inexistente, entre otras.

Entre los principales usos se tiene:

- **Manejo del recurso**, en este caso los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de áreas**, los índices usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- **Aplicación de normatividad**. En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- **Análisis de tendencia**. El análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.
- **Información pública**. En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación científica**. Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente (Ott, 1978, pg 27).

### 2.7.1. Índice biológico de calidad de agua

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 de 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.

Los índices biológicos pueden ser de dos tipos:

Índices bióticos: suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador.

Índices de diversidad: miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio, a mayor biodiversidad mayor puntuación

### **2.7.2. Índice físico químico**

Mediante estos índices se va a obtener un valor numérico adimensional que engloba las magnitudes de ciertos parámetros individuales, cuyo número y tipo varía según el índice. Se usan para evaluar la calidad de un cuerpo de agua y su evolución con el tiempo y tienen como inconveniente su poca robustez debido a que simplifican mucho la calidad al definirla mediante un único valor numérico

Se conocen algunos métodos para calcular el índice físico químico; para la presente investigación se han utilizado tres métodos, el método de Brown (ICG), pionero en el tema, método de Provencher y Lamontagne (ICA), y el método IQA-MC construido para este estudio.

#### **2.7.2.1. Método de Brown (ICG)**

Según el ministerio de medio ambiente y recursos naturales, el Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua General, y que se conoce como ICG.

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios

en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Esta técnica es utilizada comúnmente en paneles de expertos, que para la época fueron 142. El NSF, tiene la característica de ser un índice multiparámetro, y se basó en tres estudios.

En el primero, se probaron 35 variables de contaminación incluidos en el índice; los expertos opinaron sobre ellos y clasificaron los mismos en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser “no incluido”, “indeciso” o “incluido. Dentro de los incluidos debían dar una calificación más significativa. Igualmente tuvieron la oportunidad de incluir más variables.

En un segundo estudio, se dio la evaluación comparativa de las respuestas dadas por todos los expertos, de tal manera que se modificaran las respuestas si se determinaba conveniente. Como resultados de este segundo estudio, nueve fueron las variables identificadas de mayor importancia: Oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Fosfatos, Desviación de la temperatura, Turbidez y Sólidos Totales.

Finalmente, en el tercer estudio, los participantes fueron cuestionados sobre el desarrollo de una curva de valoración para cada variable. Los niveles de calidad de agua tuvieron un rango de 0 a 100 que fueron localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas. Cada participante realizó la curva que pensó que representaba la variación de la calidad del agua, causada por el nivel de contaminación de las variables. Estas curvas fueron conocidas como “relaciones funcionales” o “curvas de función.

Brown en 1973 realiza una evaluación numérica del Índice de calidad de agua, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos determinándose a partir de una media geométrica ponderada, Ecuación que se describe a continuación:

$$ICG = \sum_{i=1}^9 (Sub_i \times W_i)$$

Ecuación 2.1.

Dónde:

$W_i$ : son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a la unidad.

$Sub_i$ : es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100. Se lo obtiene de las gráficas que se detallan más adelante.

Los pesos asignados a cada parámetro se desglosan en la Tabla 1.

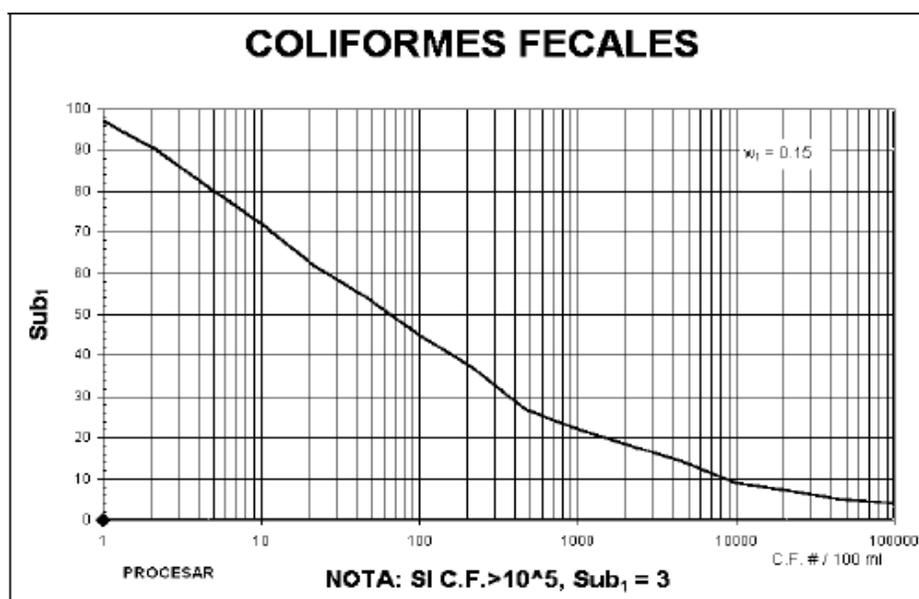
**Tabla 1. Pesos asignados a cada parámetro del ICG**

Parámetro	Peso	Parámetro	Peso
Oxígeno Disuelto	0,17	Turbiedad	0,08
Coliformes fecales	0,16	Sólidos Totales	0,07
pH	0,11	Fosfato total	0,10
Demanda Bioquímica de oxígeno	0,11	Nitratos	0,10
Diferencia de temperatura	0,10	$\Sigma = 1,00$	

Fuente: Brown, 1973.

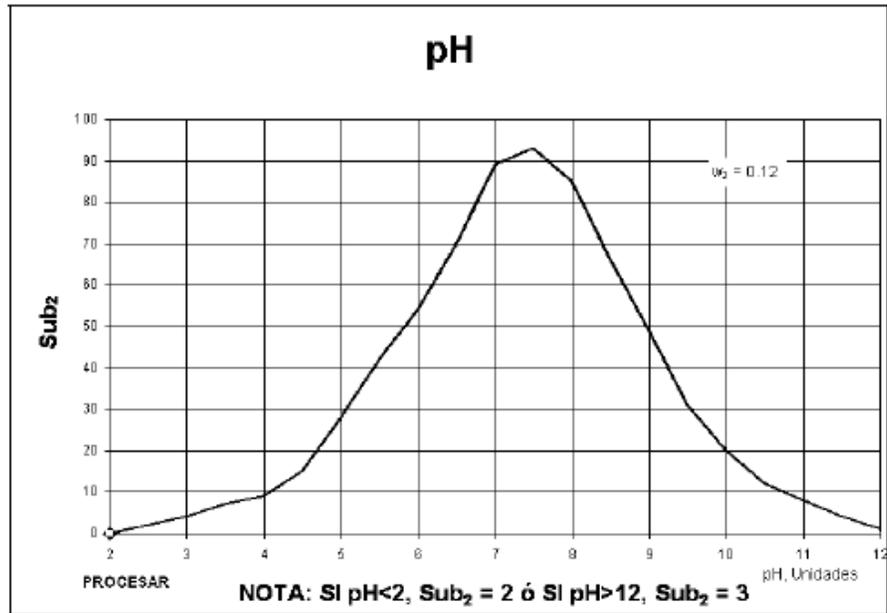
Se debe tomar en cuenta la sumatoria de los pesos siempre debe ser la unidad para todos los casos y en el cálculo de cualquier tipo de índice de calidad de agua. Las gráficas que se detallan a continuación son aquellas que se usan para la determinación de la calidad del parámetro en función de su concentración (Sub<sub>i</sub>).

**Gráfico 4. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales**



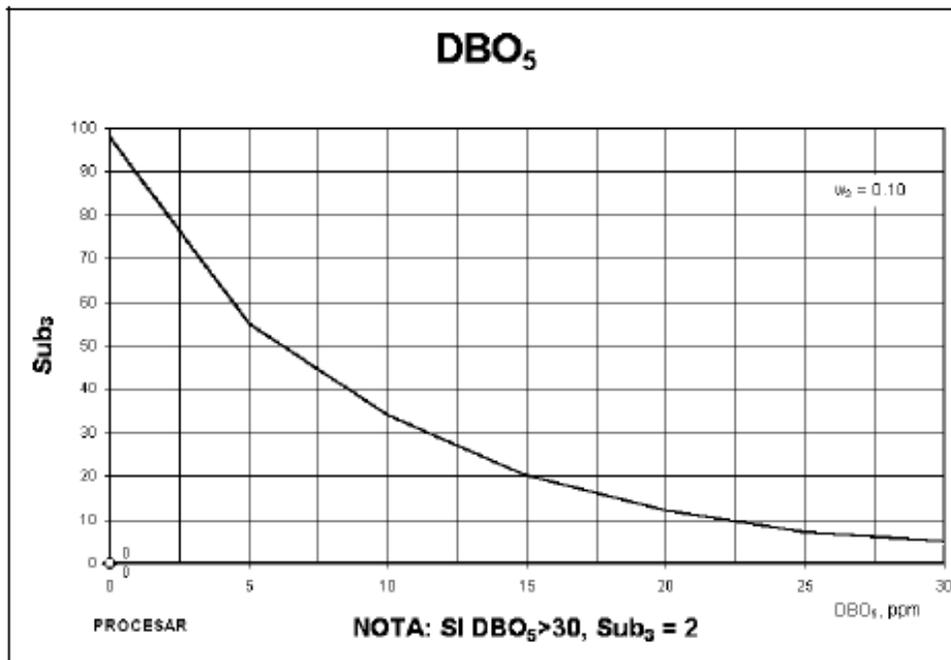
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

Gráfico 5. Valoración de la calidad de agua en función del pH



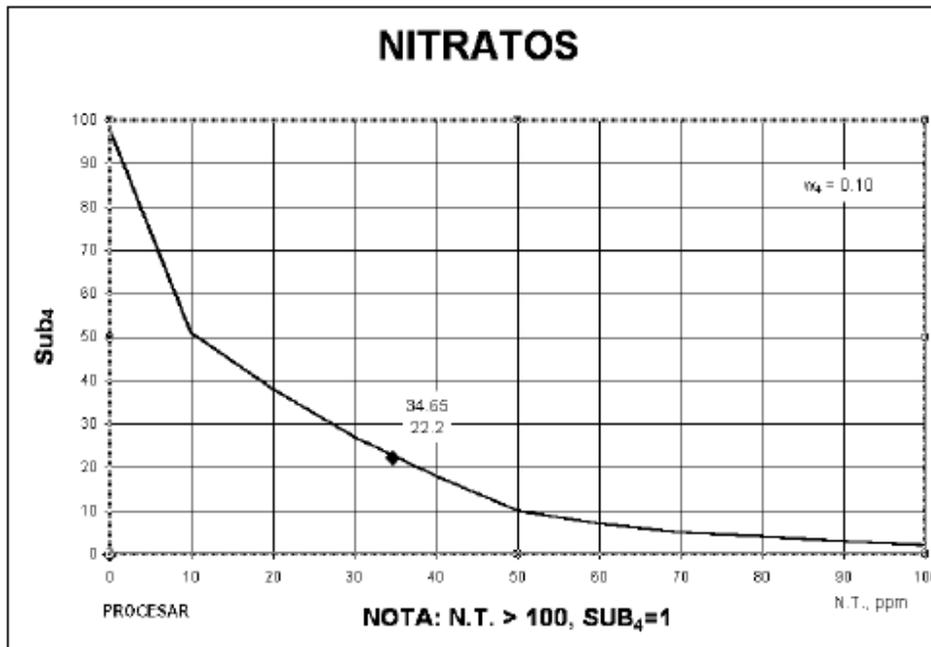
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

Gráfico 6. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>



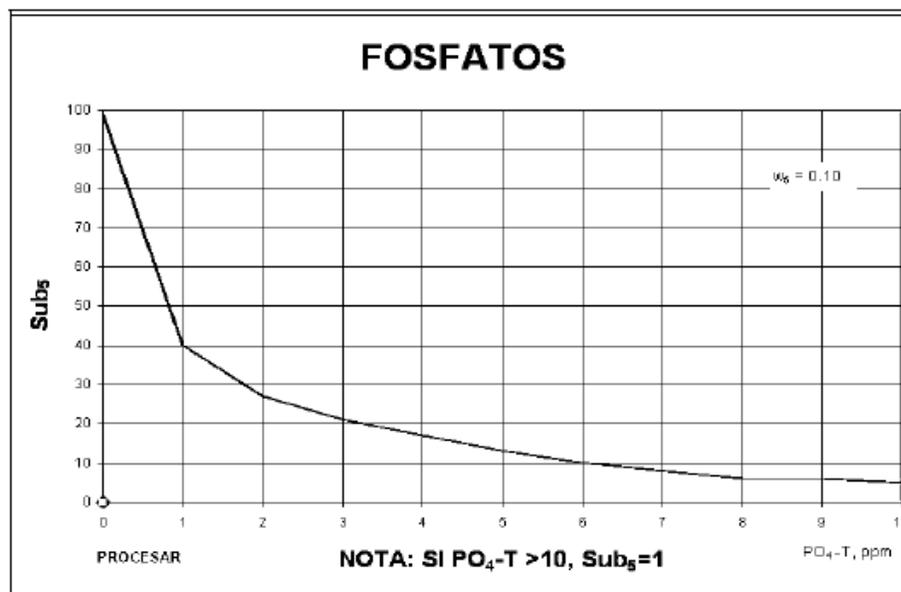
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

Gráfico 7. Valoración de la calidad de agua en función de nitratos.



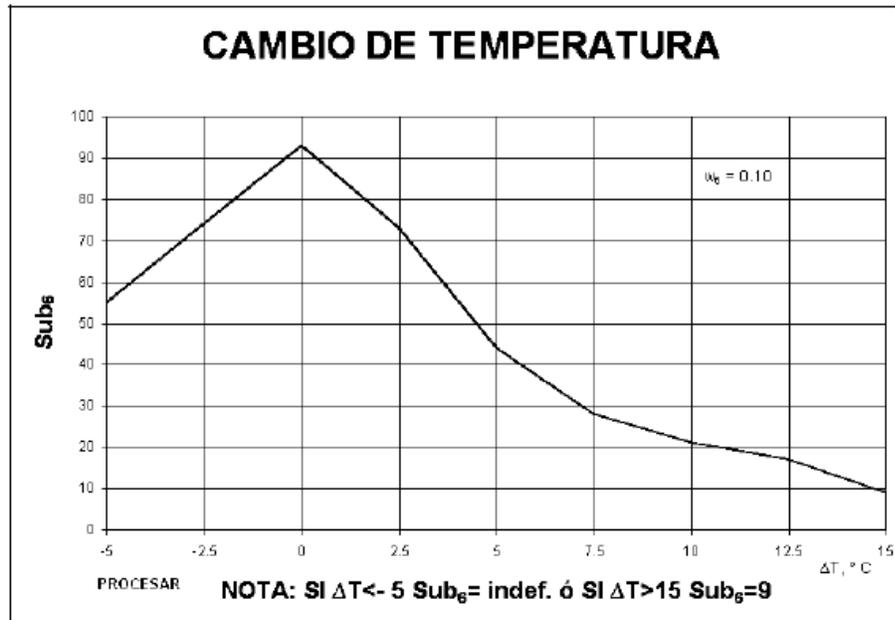
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

Gráfico 8. Valoración de la calidad de agua en función del Fosfato.



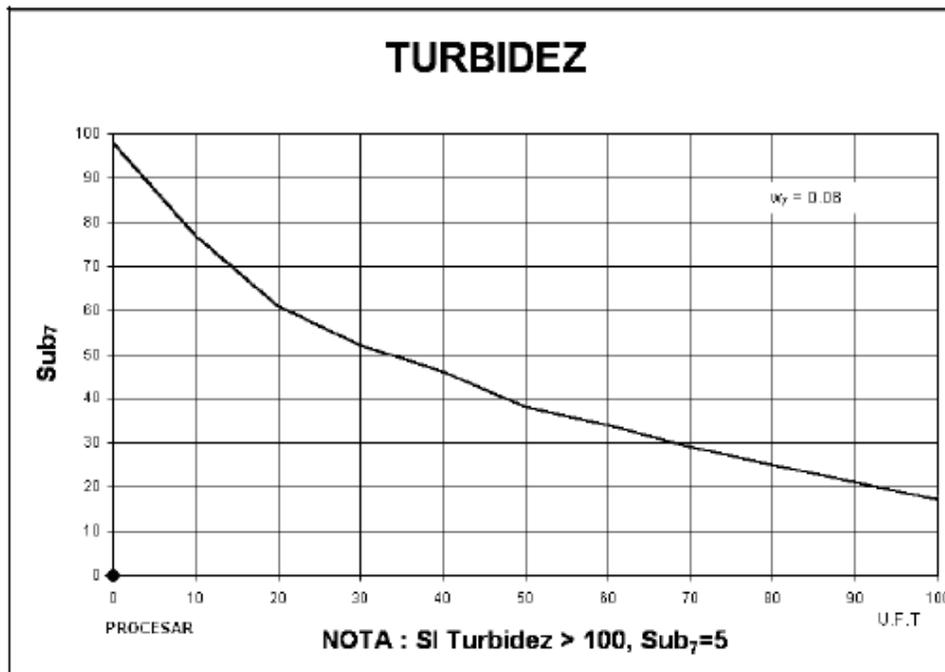
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

**Gráfico 9 . Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura**



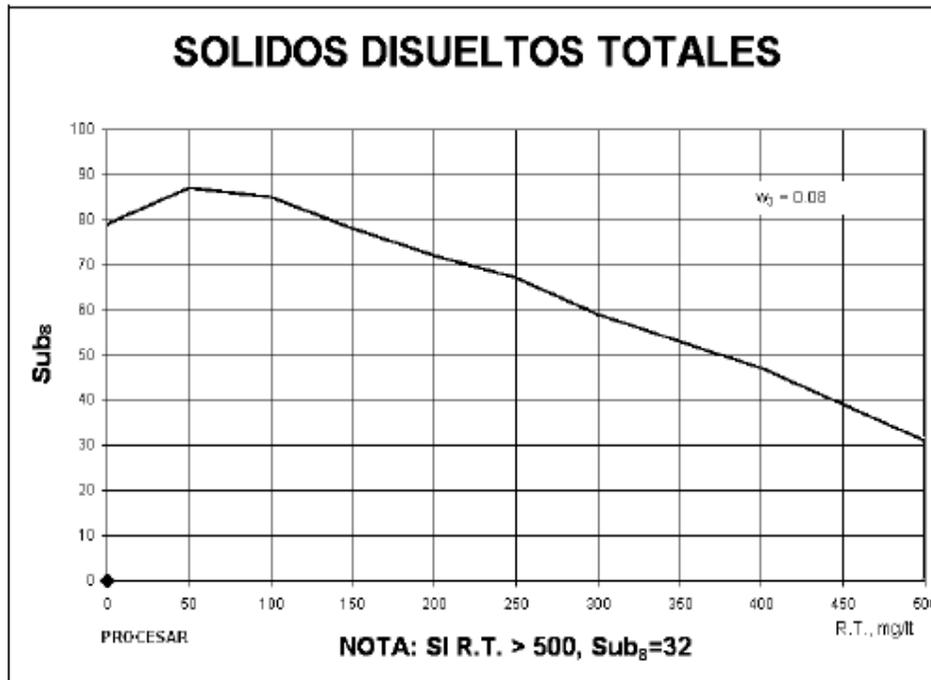
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

**Gráfico 10. Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez**



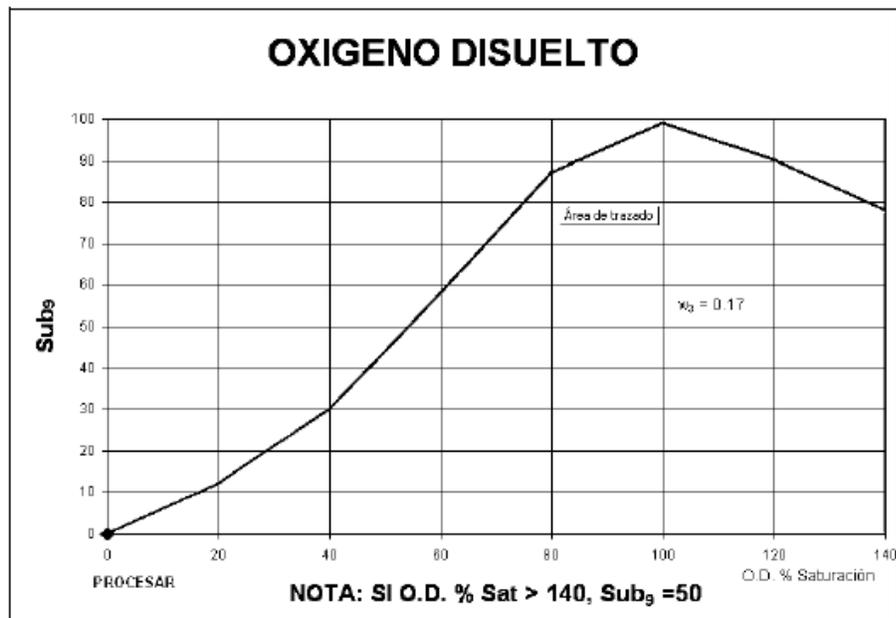
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

Gráfico 11. Valoración de la calidad de agua en función de Sólidos Totales



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

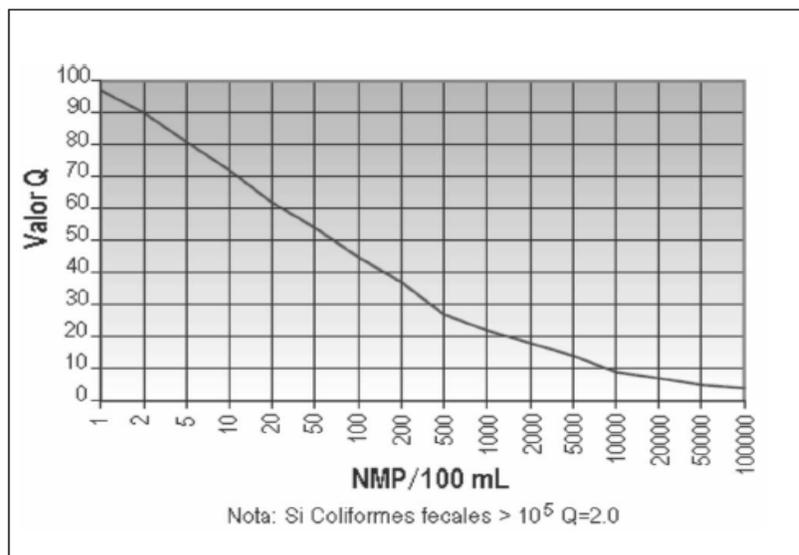
Gráfico 12. Valoración de la calidad de agua en función del Oxígeno disuelto.



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. El Salvador.

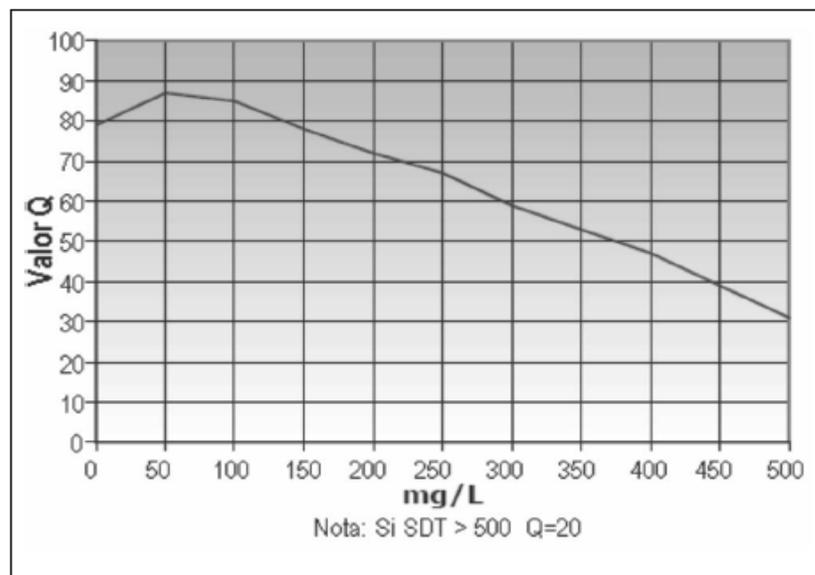
Las gráficas que se detallan a continuación se han utilizado para determinar el índice de calidad de agua a partir de su concentración por parámetro.

**Gráfico 13.- Curva de calidad de coliformes fecales**



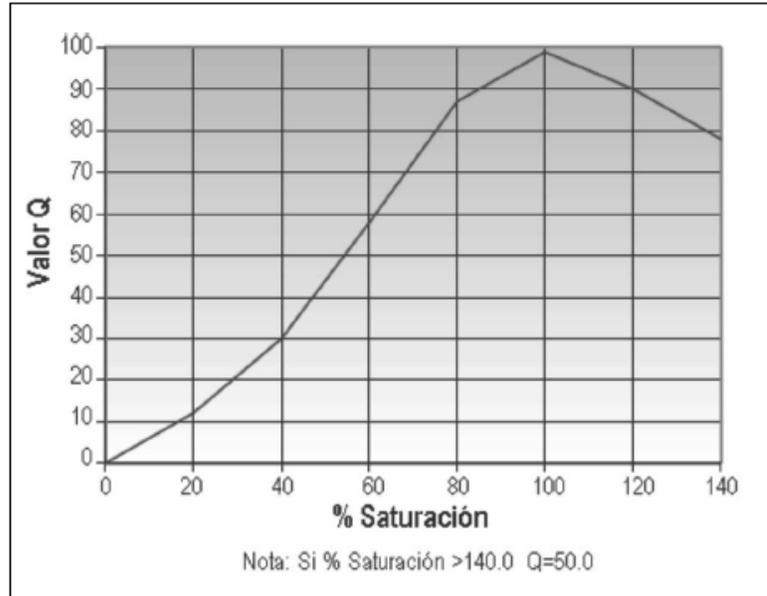
Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179

**Gráfico 14.- Curva de calidad de sólidos totales**



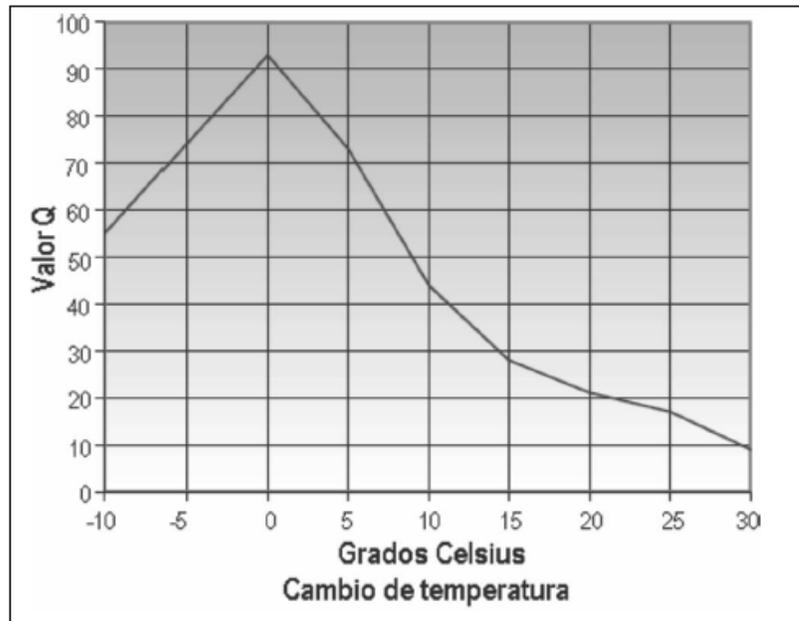
Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179

**Gráfico 15. - Curva de calidad de % de saturación**



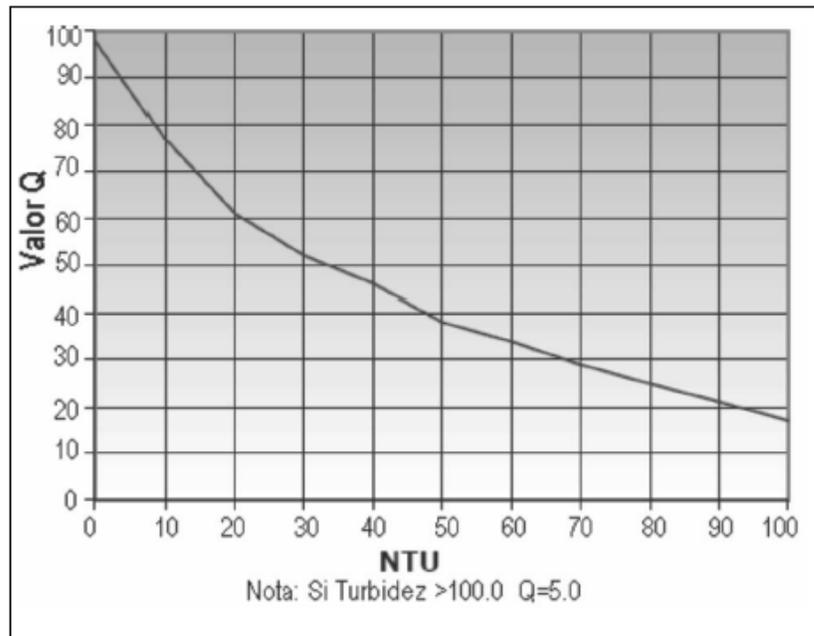
**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 16.- Curva de calidad de cambio de temperatura**



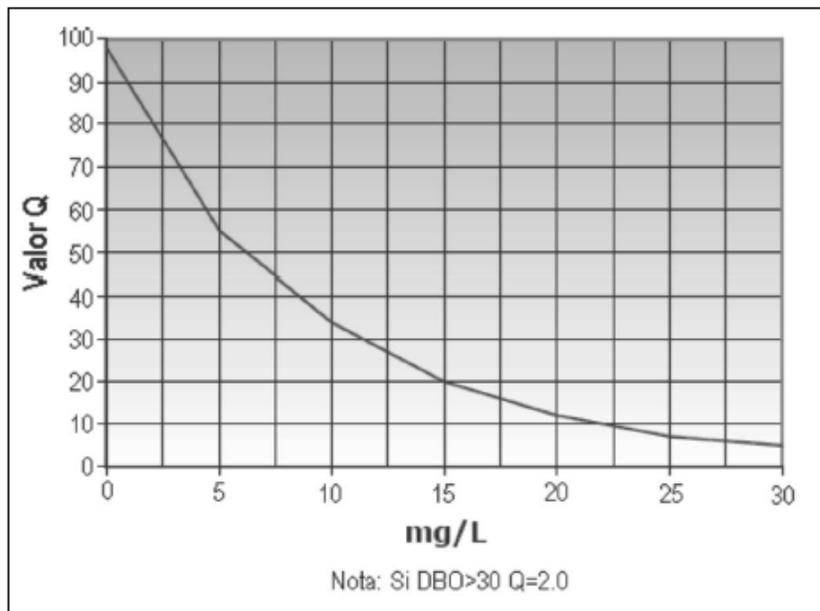
**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 17 .- Curva de calidad de turbidez**



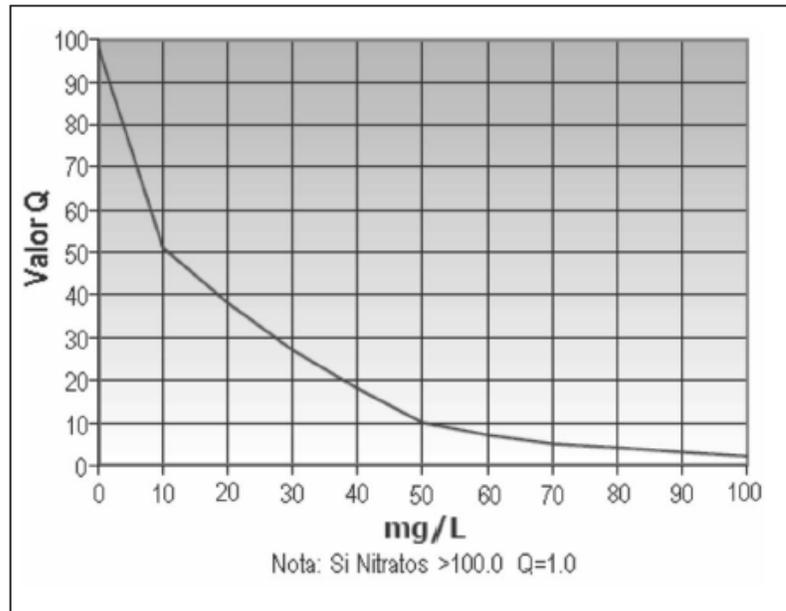
**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 18 .- Curva de calidad de DBO<sub>5</sub>**



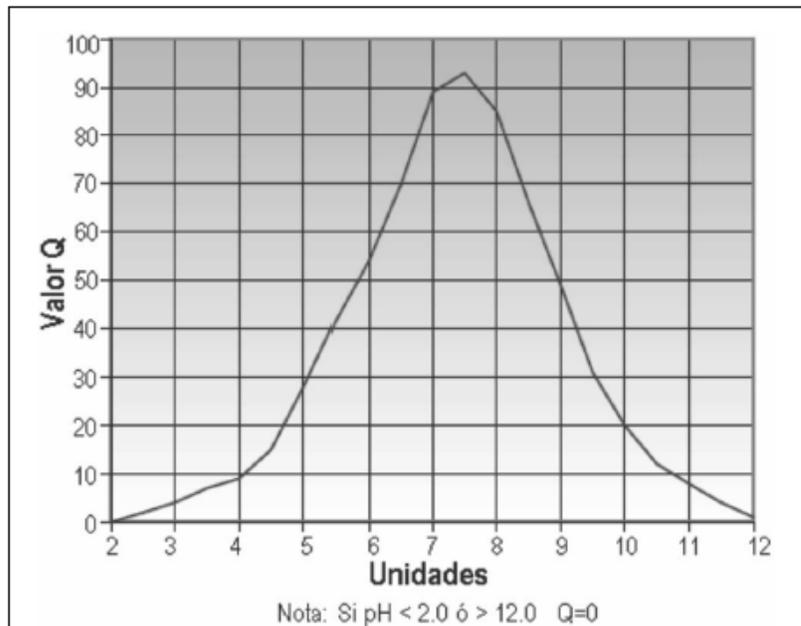
**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 19 .- Curva de calidad de nitratos**



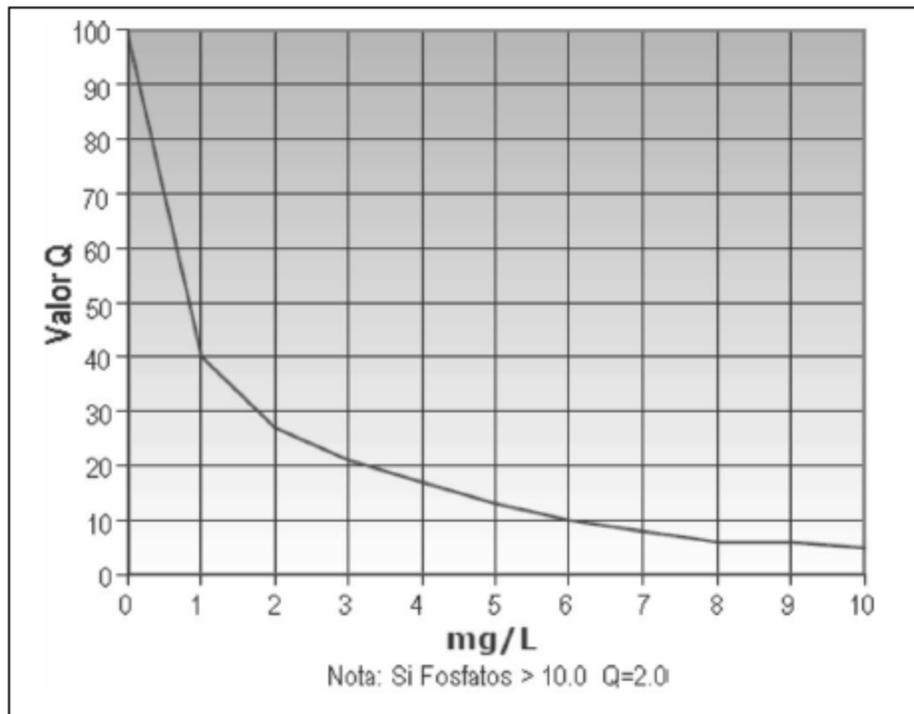
**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 20 .- Curva de calidad de pH**



**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

**Gráfico 21 .- Curva de calidad de fosfatos**



**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 179**

Finalmente el resultado que se obtiene de la Ecuación (2.1) es el valor del ICG, que es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación.

En la Tabla 2 se muestra a continuación los rangos de clasificación ICG de acuerdo al método de Brown.

**Tabla 2. Rangos de clasificación ICG**

<b>Valor del ICG</b>	<b>Calidad de Agua</b>
91-100	Excelente – No contaminado
71-90	Bueno – Aceptable
51-70	Regular – Poco contaminado
26-50	Malo – Contaminado
0-25	Pésimo – Altamente contaminado

**Fuente: Samboni N. Carvajal Y. Escobar J. 2007. Pg 180**

En la Tabla 3 se detalla la escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua de los distintos usos que se puede dar al agua para poder tomar una decisión de acuerdo al criterio de la SEMARNAP, Comisión Nacional del Agua México, para abastecimiento público, para recreación, pesca y vida acuática e industrial y agrícola, determinando que existen diferentes límites sobre la calidad de agua, siendo más exigentes en el abastecimiento público e industrial y agrícola ya que ésta afectará directamente al hombre, flora y fauna.

**Tabla 3.- Escala de clasificación del Índice de calidad del agua para distintos usos**

ICA	USO				
	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA
100	NO CONTAMINADO	NO REQUIERE PURIFICACIÓN	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUÁTICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACIÓN
95					
90					
85		LIBRE DE PURIFICACIÓN			LIGERA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS
80	ACEPTABLE				
75					
70					
65	POCO CONTAMINADO	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE, EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
60					
55			DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES		
50	CONTAMINADO	DUDOSO	DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
45					
40					
35			SIN CONTACTO CON EL AGUA		
30	ALTAMENTE CONTAMINADO	NO ACEPTABLE	SEÑAL DE CONTAMINACIÓN	NO ACEPTABLE	USO RESTRINGIDO
25					
20					
15					
10					
5					
0	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE			

Fuente: SEMARNAP, Comisión Nacional del Agua, 2000

### **2.7.2.2. Método de Provencher y Lamontagne (ICA)**

Es una adaptación del Índice Provencher y Lamontagne del Servicio de calidad de las aguas del Ministerio de Riquezas Naturales del Estado de Quebec (Canadá), en el que se utilizan 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales que se escogen de acuerdo a las gráficas más adelante descritas. Permite su tratamiento informático y enfoca el problema en su máxima generalidad, de forma que es posible definir un índice de calidad para cualquier uso posterior, simplemente determinando las especificaciones requeridas a efecto.

Se trata pues de nueve variables básicas y catorce complementarias, con las que se pretende que tanto la toxicidad, como la capacidad de albergar la vida, los fenómenos de eutrofización y determinados compuestos de origen industrial puedan reflejar combinadamente su presencia y tipificar una calidad en la que se conjuntan las contaminaciones, tanto naturales como artificiales.

El número de variables que pueden ser consideradas para evaluar la calidad o el grado de contaminación de las aguas es demasiado grande para que sea posible en la práctica, examinando la evolución de cada una, adquirir una idea clara de su comportamiento, sea en el ámbito geoGráfico o temporal.

La calidad de un agua no es un concepto absoluto. Ha de estar en relación con un uso concreto predeterminado. Las exigencias para el abastecimiento humano, la industria farmacéutica o los usos recreativos son muy diferentes, y por lo tanto los índices de calidad, mejor dicho, el cálculo de los índices de calidad, han de tener en cuenta esta condición previa.

La finalidad que se pretende con el índice de calidad de agua, es deducir un número adimensional, como combinación o función de los datos analíticos de una muestra de agua, que refleje su calidad en orden a su utilización posterior, y que permita su comparación con los que se obtengan, por el mismo algoritmo, de otras muestras, tomadas en distintos lugares o épocas.

Su expresión matemática más general es:

$$ICA = \sum_{i=1}^n F_1(\lambda_i) \times F_2(\lambda_{i,n})$$

Ecuación 2.2.

Donde:

$\lambda_i$ : variable o parámetros analizados.

n: número de parámetros que intervienen en la sumatoria.

$F_1$ : función que transforma el valor analítico de cada parámetro en un valor adimensional. Se obtiene de esta forma el nivel de calidad ( $Q_i$ ).

$F_2$ : función que pondera la influencia de cada parámetro en el global del índice. Se obtiene así el peso específico de cada parámetro ( $P_i$ ).

Por lo tanto, el ICA se puede expresar finalmente como:

$$I.C.A = \sum_{i=1}^n Q_i \times P_i$$

Ecuación 2.3.

Donde:

$Q_i$ : nivel de calidad, puede oscilar entre cero y cien, siendo el valor cero el que corresponde al nivel pésimo y cien al óptimo. Los valores de  $Q_i$  se pueden calcular mediante expresiones matemáticas con la ayuda de gráficas, en las cuales, de acuerdo a la concentración del parámetro se escoge la Ecuación a utilizar.

$P_i$ : peso específico calculado de cada parámetro.

El valor  $P_i$  se calcula mediante la Ecuación 2.4. Asignando a cada una de las variables un coeficiente "a" de valores comprendidos entre 1 y 4, que mide la influencia relativa de cada uno.

$$P_i = \frac{\left(\frac{1}{a_i}\right)}{\sum_1^n \left(\frac{1}{a_i}\right)}$$

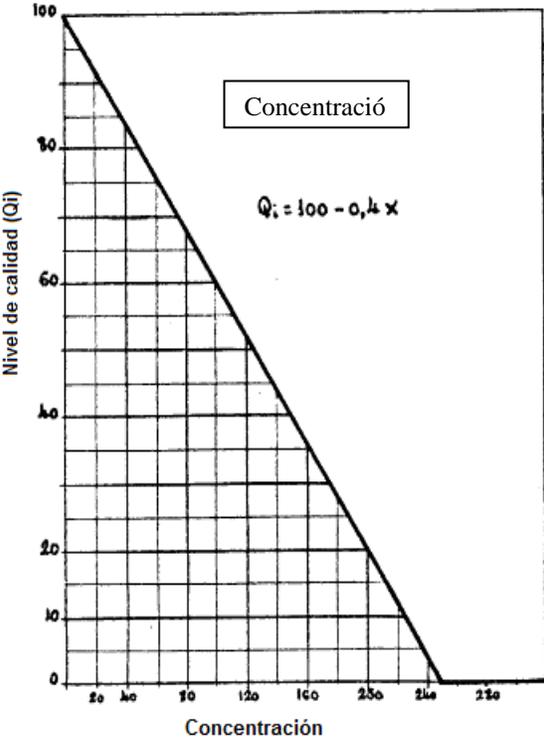
Ecuación 2.4.

Donde:

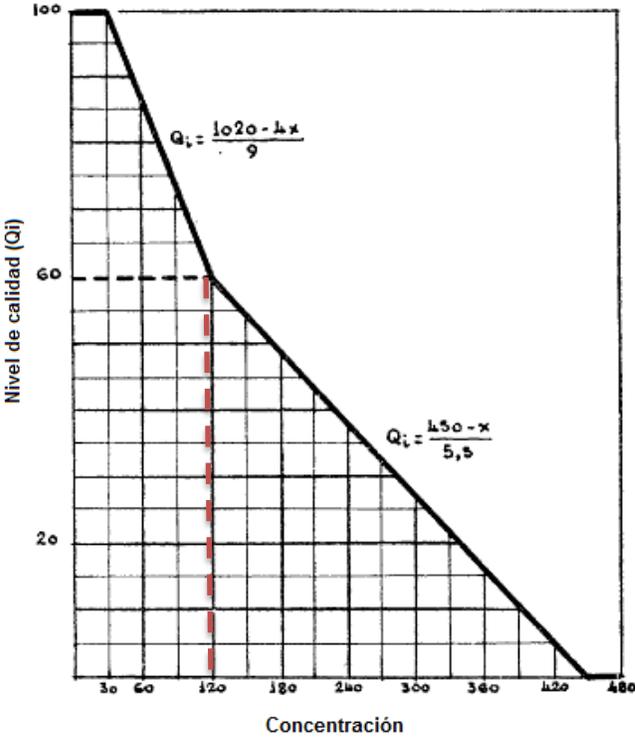
- a=1, Parámetro muy importante
- a=2, Parámetro de importancia media
- a=3, Parámetro de importancia débil
- a=4, Parámetro dudoso o poco significativo

A continuación se presentan las gráficas y las ecuaciones correspondientes para el cálculo del ICA, ubicando la concentración del parámetro en las abscisas y el nivel de calidad (Q<sub>i</sub>) en las ordenadas.

**Gráfico 22.** Curva de Calidad de Nitratos

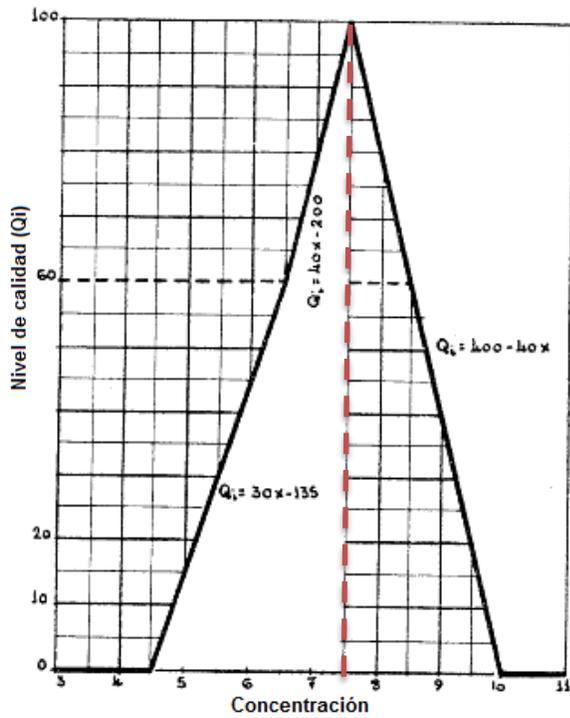


**Gráfico 23.** Curva de Calidad de Sólidos totales.

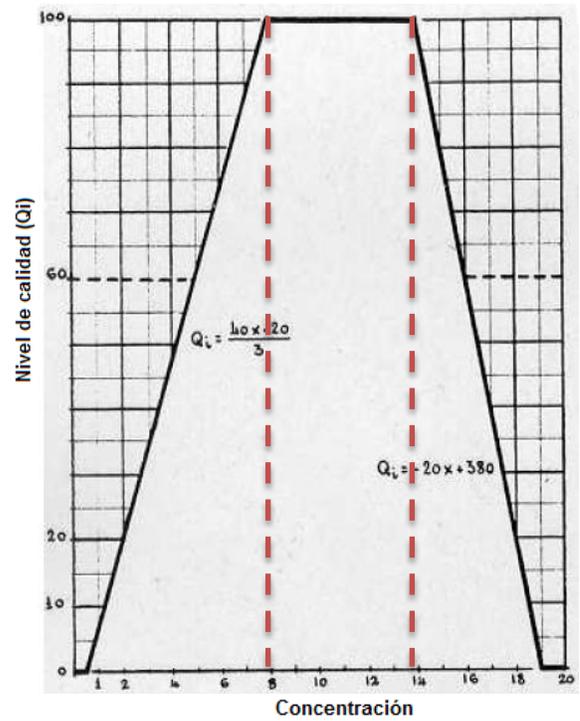


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 24.** Curva de Calidad de Ph.

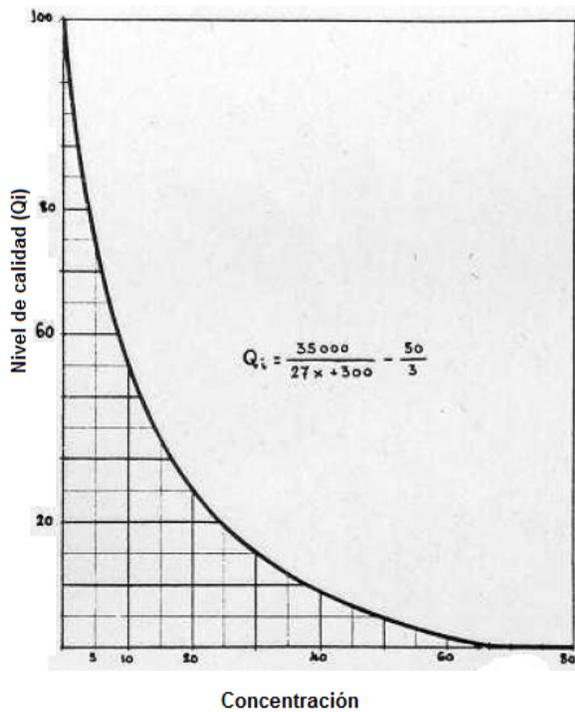


**Gráfico 25.** Curva de Calidad de Oxíg. Disuelto

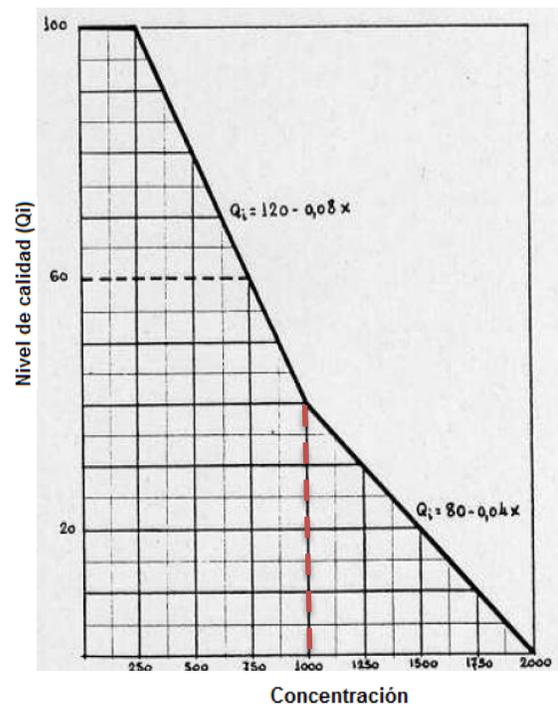


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 26.** Curva de Calidad de DQO.

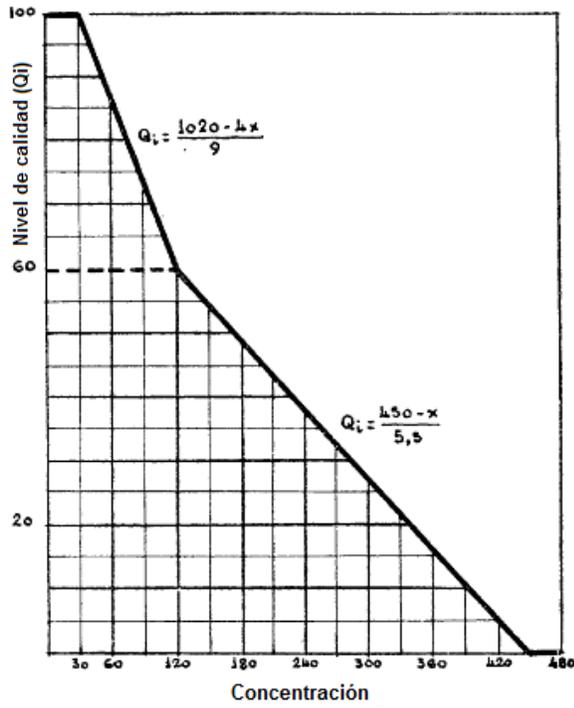


**Gráfico 27.** Curva de Calidad de Cond. Eléc.

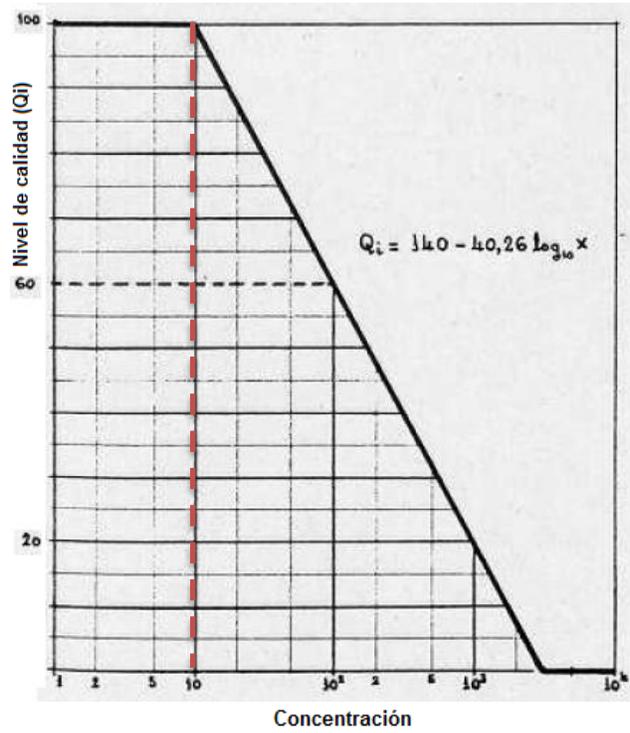


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 28.** Curva de Calidad de DBO5.

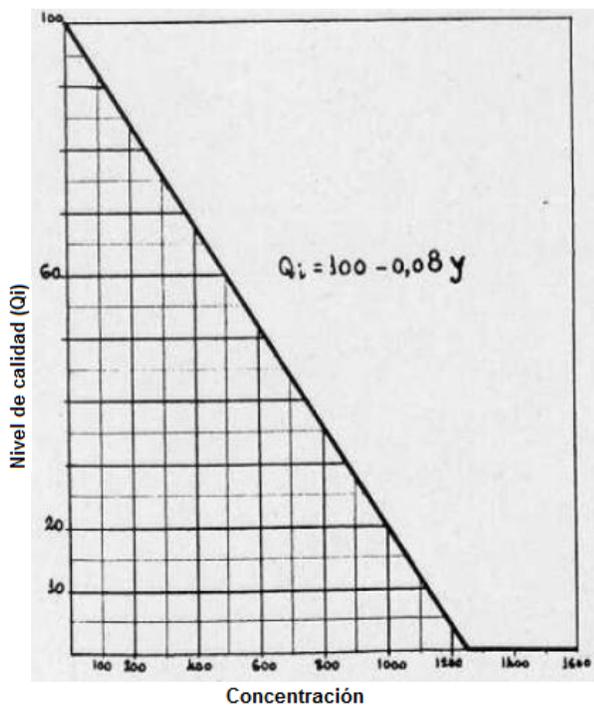


**Gráfico 29.** Curva de Calidad de Colif. Totales

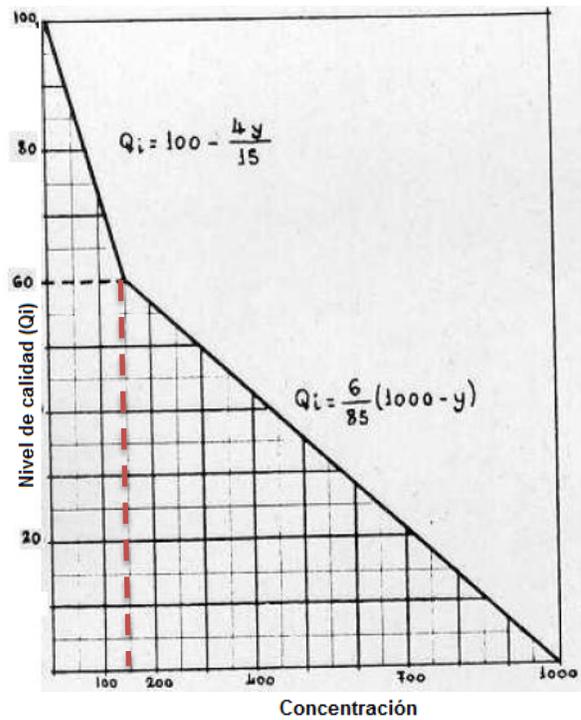


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 30.** Curva de Calidad de Sulfato

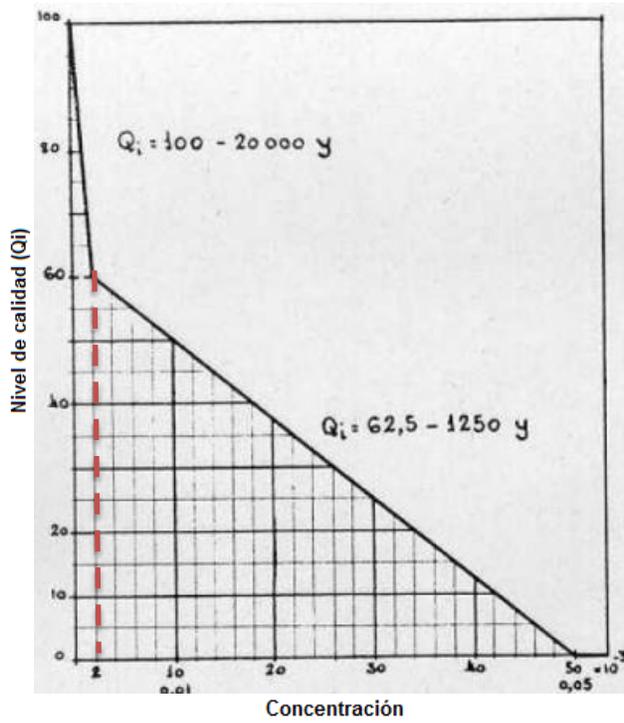


**Gráfico 31.** Curva de Calidad de Magnesio.



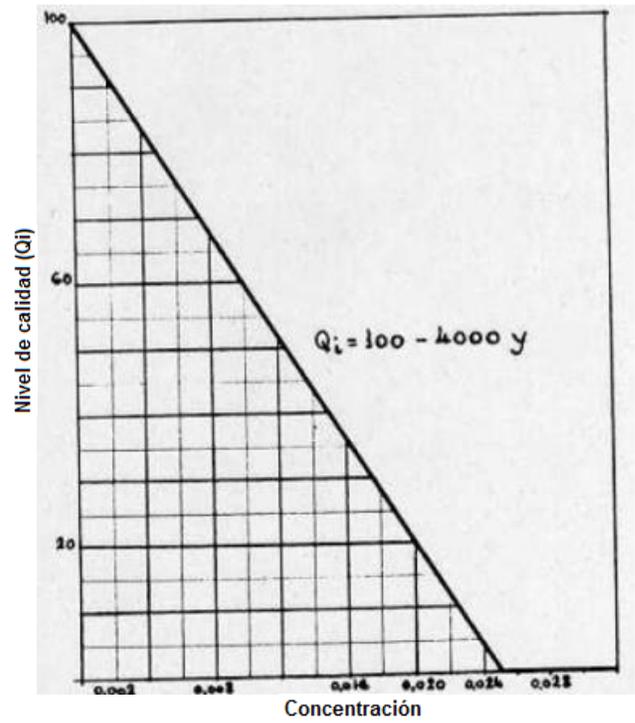
Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 32.** Curva de Calidad de Fenoles.

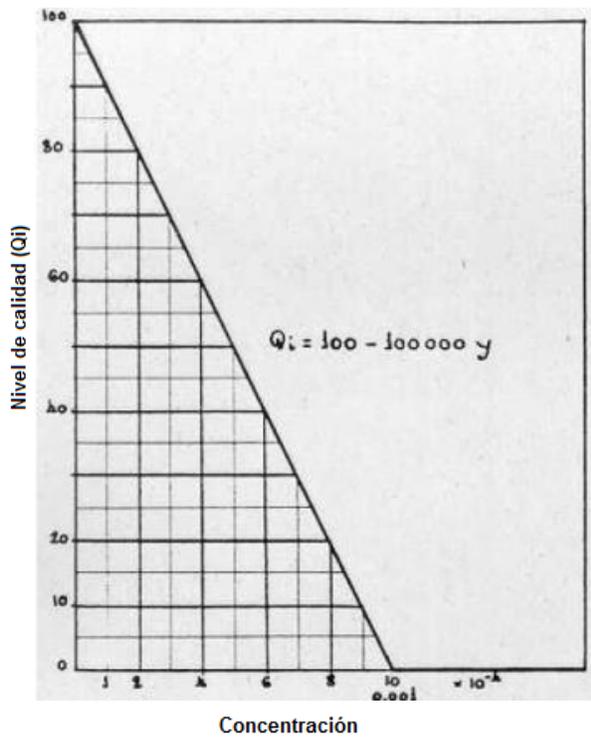


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

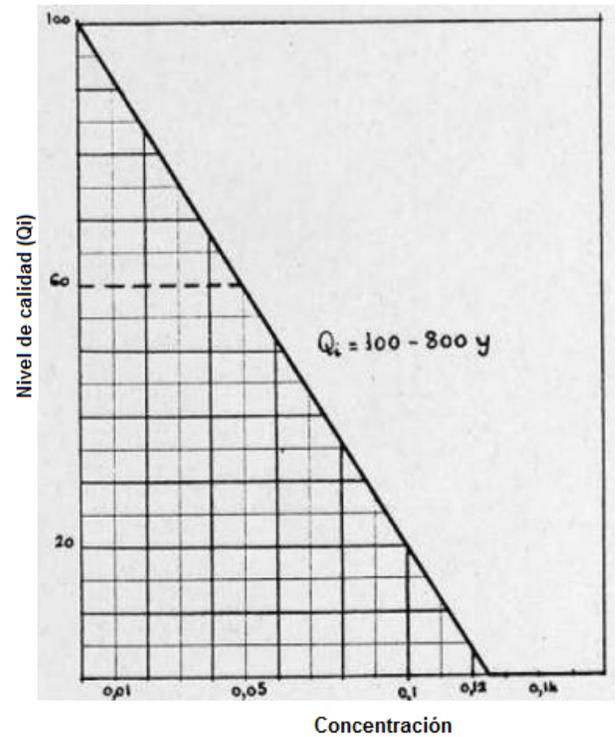
**Gráfico 33.** Curva de Calidad de Cianuro.



**Gráfico 34.** Curva de Calidad de Mercurio.

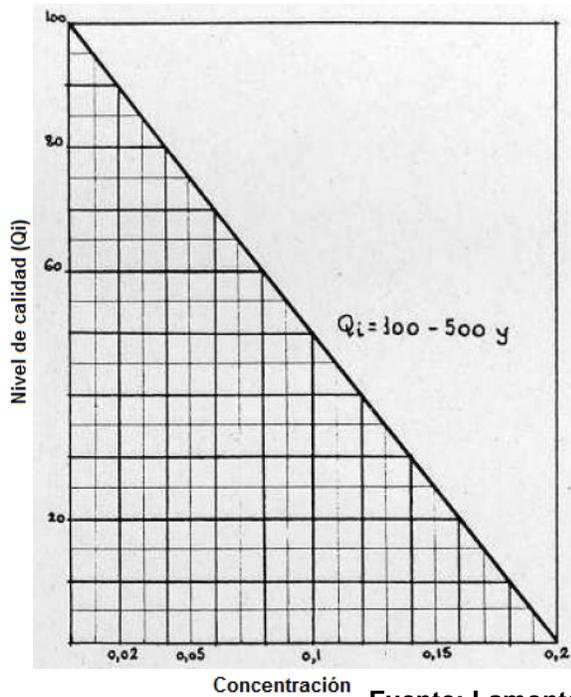


**Gráfico 35.** Curva de Calidad de Cromo.

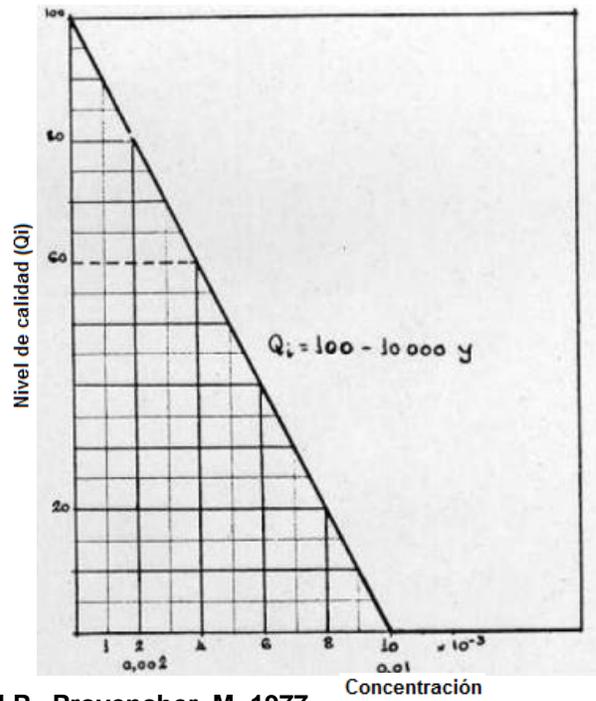


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 36.** Curva de Calidad de Plomo.

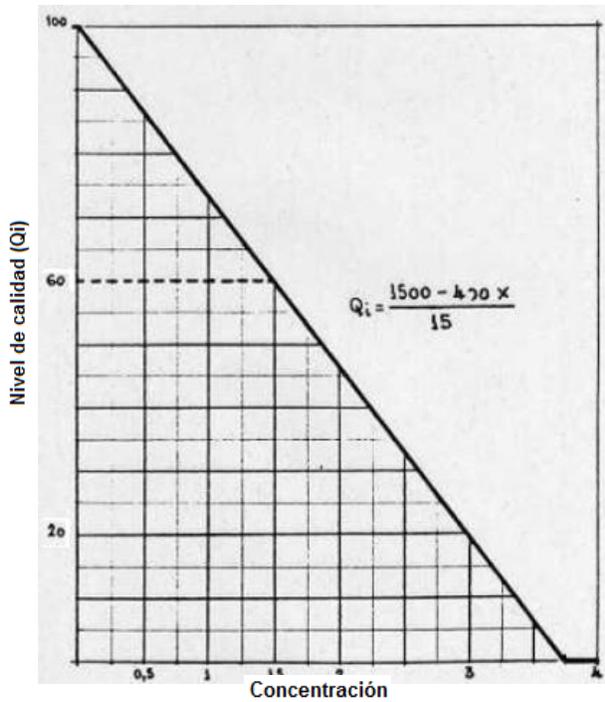


**Gráfico 37.** Curva de Calidad de Cadmio.

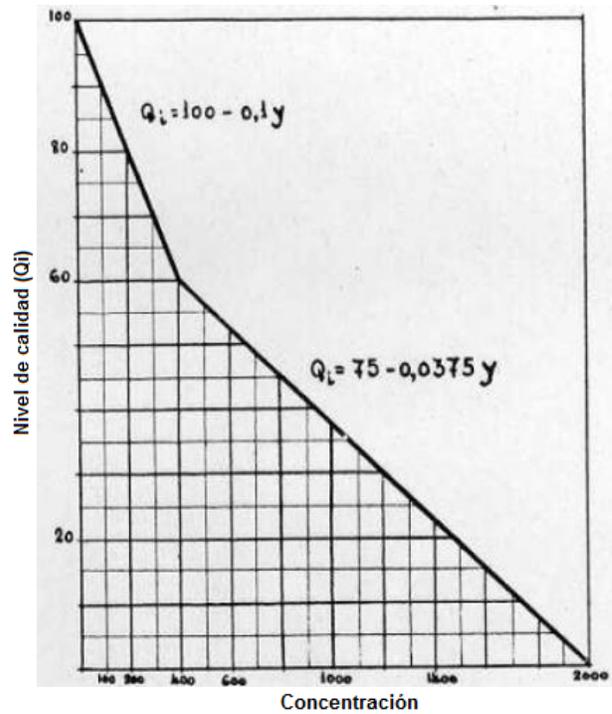


Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

**Gráfico 38.** Curva de Calidad de Fosfatos.



**Gráfico 39.** Curva de Calidad de Cloruro.



Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977

En la Tabla 4 se detallan los 23 parámetros utilizados en este índice, su coeficiente asignado de acuerdo a Provencher y Lamontagne 1977 y, en la última columna, el tipo de variable (x para las básicas e y para las complementarias).

**Tabla 4. Coeficientes de clasificación ICA**

PARÁMETRO	COEFICIENTE a	TIPO	PARÁMETRO	COEFICIENTE a	TIPO
Oxígeno Disuelto	1	x	Magnesio	4	y
Materia en suspensión	1	x	Sodio	4	y
pH	1	x	Nitrato	3	x
Conductividad Eléctrica	1	x	Detergente	1	y
D.Q.O	3	x	Cianuros	1	y
D.B.O 5	1	x	Fenoles	1	y
Coliformes totales	1	x	Cadmio	1	y
Cloruros	2	y	Cobre	2	y
Sulfatos	2	y	Calcio	3	y
Fosfatos	3	x	Cromo hexavalente	1	y
Mercurio	1	y	Plomo	1	y
Zinc	1	y			

**Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977**

Provencher y Lamontagne dejan la opción del uso de los coeficientes y parámetros de acuerdo a las necesidades de cada caso de estudio, y por esto se decide cambiar los coeficientes y omitir algunos parámetros debido a la ausencia del valor de concentración, y son, calcio, sodio detergentes, fenoles, cobre y zinc.

En la Tabla 5 se muestran los parámetros utilizados, con su coeficiente establecido para el caso en estudio.

**Tabla 5. Coeficientes de clasificación ICA para caso en estudio**

<b>Parámetro</b>	<b>a</b>	<b>Parámetro</b>	<b>a</b>	<b>Parámetro</b>	<b>a</b>
Oxígeno Disuelto	2	Sulfato	4	Plomo	3
Sólidos totales	4	Fosfato	4	Cloruro	4
pH	1	Magnesio	1	Mercurio	3
Conductividad eléctrica	3	Nitrato	3	Coliformes totales	1
DQO	1	Cianuro	3	Cromo	3
DBO 5	1	Cadmio	1		

**Fuente: Autora**

Se escogen los coeficientes de “a” para estos parámetros siguiendo la tendencia del método de Brown y poder realizar una comparación del índice calculado.

Los autores del método proporcionan una clasificación del índice de calidad de agua de acuerdo al cálculo realizado, donde el valor de ICA se calcula leyendo la concentración de cada parámetro en su gráfica correspondiente y utilizando la Ecuación adecuada para disminuir errores de cálculo.

Para el índice de calidad de agua (ICA), es válida la siguiente clasificación:

**Tabla 6. Rangos de clasificación ICA**

<b>Valores de ICA</b>	<b>Calidad del agua</b>
Entre 100 y 90	Excelente
Entre 90 y 80	Buena
Entre 80 y 70	Intermedia
Entre 70 y 60	Admisible
Entre 60 y 0	Inadmisible

**Fuente: Lamontagne, M.P., Provencher, M. 1977**

Donde el agua es excelente si su ICA varía de 90 a 100 y es inadmisibles si el valor es menor a 60.

### **2.7.2.3. Método IQA- MC**

Se decide construir un índice de calidad de agua para evaluar el tramo en estudio, el cual incluye todos los parámetros encontrados en la caracterización del agua del río Yacuambi, tramo comprendido desde la formación del río Tutupali hasta su intersección con el río Zamora.

Para desarrollar este método se ha procedido a construir el índice de calidad de agua basándose en los estudios realizados por Carlos Alberto Sierra Ramírez, investigador de calidad de agua de la Universidad de Medellín – Colombia.

Para la construcción de este índice se han tomado parámetros de carga orgánica, efecto recuperador, contaminación fecal, aspecto estético, nutrientes, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados, en función de los datos que se obtuvieron en laboratorio.

#### **2.7.2.3.1. Construcción del índice IQA-MC**

De acuerdo a Sierra, 2011, el proceso de construcción de un índice de calidad de agua se resume en la realización de tres pasos:

- **Primer paso**

Se definen los objetivos para el cual se va a utilizar el índice de calidad de agua, se define notoriamente el propósito de la creación del índice, utilizándolo como una herramienta de gestión o para mostrar la tendencia en el tiempo del estado de contaminación de un recurso hídrico.

- **Segundo paso**

Se seleccionan los parámetros por incluir en el índice de calidad de agua, en este caso serán 42 parámetros, los cuales incluyen parámetros físicos, químicos y bacteriológicos dados de la caracterización del agua.

- **Tercer paso**

Se formula la expresión matemática para calcular el índice de calidad de agua, procediendo de la siguiente manera:

- i) Se establece el rango de variación del índice de calidad, en este proceso variará entre 0 y 100 para poder compararlo con otros métodos de cálculo.
- ii) Pudiendo tener el número de términos que se desee, se agrupan los parámetros en variables similares que representan los aspectos a evaluar. Por lo tanto la Ecuación tendrá los siguientes términos, colocando las variables dependientes en un mismo término para luego multiplicarlas.
  - Término carga orgánica: DBO<sub>5</sub> y DQO.
  - Término efecto recuperador: % de Saturación.
  - Término contaminación fecal: coliformes fecales y totales.
  - Término aspecto estético: turbiedad, Sólidos totales, aceites y grasas.
  - Término nutrientes: nitrito, nitrato.
  - Término nutrientes 2: fosfatos.
  - Término metales pesados: bario, mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico.
  - Término pesticidas organoclorados: aldrín, beta HCH, 2-4 DDT, 4-4

DDT, metoxicloro, heptacloro, alfa HCH.

- Término pesticidas organofosforados: fonofos, fenamifos, quinalfos, pirifos metil, malation, dimetoato, carbofenotion.
- Término otros: pH, cloruro, sulfato, dureza total, hierro total, cianuros y temperatura (cada uno analizado como una variable independiente).

iii) Se asigna un peso relativo a cada término, estableciendo la importancia del mismo (Tabla 7), peso que se estipula de acuerdo a los resultados de laboratorio, estableciendo niveles de contaminación, siendo la sumatoria igual a la unidad.

**Tabla 7. Pesos asignados a cada parámetro IQA-MC**

<b>Parámetro</b>	<b>Peso</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Peso</b>
Carga Orgánica	0,12	Pesticidas Organofosforados	0,05
Efecto recuperador	0,16	pH	0,05
Contaminación Fecal	0,15	Cloruro	0,01
Aspecto Estético	0,09	Sulfato	0,01
Nutrientes	0,09	Dureza	0,01
Nutrientes 2	0,09	Hierro	0,01
Metales pesados	0,05	Cianuro	0,01
Pesticidas Organoclorados	0,05	Temperatura	0,05

**Fuente: Autora**

Y la expresión matemática tendrá la siguiente forma:

$$IQA - MC = (a(Co) + b(Er) + c(Cf) + d(Ae) + e(N) + f(Mp) + g(Po1) + h(Po2) + i(Ot)) \times 100$$

Ecuación 2.5.

$$a + b + c + d + e + f + g + h + i = 1$$

Dónde:

Co: carga orgánica

Er: efecto recuperador  
Cf: contaminación fecal  
Ae: aspecto estético  
N: nutrientes  
Mp: metales pesados  
Po1: pesticidas organoclorados  
Po2: pesticidas organofosforados  
Ot: otros  
a,b,c,d,e,f,g,h,i: asignación de pesos cualitativos.

- iv) Normalización o indexación de las variables, a cada uno de los parámetros que componen la Ecuación se les da valores entre cero y uno, para realizar esta actividad se toman como referencia los factores de normalización dados por la Ing. Zuley Rivas (Tabla 8) y por los analizados y determinados en el departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Los factores de normalización dados por Zuley Rivas se determinan del estudio “Water quality index estimation in the basin of the Catumbo river” en Venezuela, quién normaliza los parámetros siguientes, DBO<sub>5</sub>, cloruro, conductividad eléctrica, DQO, % de saturación dado como oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, aceites y grasas, pH, fosfato, sólidos totales, sulfato, temperatura, coliformes totales y turbidez.

Los parámetros dureza total, hierro total, cianuros, coliformes fecales, bario, mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico, pesticidas organoclorados y organofosforados, se normalizan de acuerdo a la norma vigente de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, Ecuador.

**Tabla 8. Factores de normalización**

Parámetro	Factor de Normalización										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
* DBO5	<0,5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15
*Cloruro	<25	<50	<100	<150	<200	<300	<500	<700	<1000	≤1500	>1500
* Conductividad	<750	<1000	<1250	<1500	<2000	<2500	<3000	<5000	<8000	≤1200	>1200
*DQO	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	≤150	>150
* % de saturación O.D	≥84,2	>80,1	>77,2	>73,8	>63,5	>52,4	>47,2	>40,5	>29,9	≥15,8	>15,8
*Nitrato	<0,5	<2	<4	<6	<8	<10	<15	<20	<50	≤ 100	>100
*Nitrito	<0,005	<0,01	<0,03	<0,05	<0,10	<0,15	<0,20	<0,25	<50	≤1	>1
* Aceites y Grasas	<0,005	<0,02	<0,04	<0,08	<0,15	<0,30	<0,60	<1	<2	≤3	>3
*pH	7	7-8	7-8,5	7-9	6,5	6-9,5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
* Fosfato	<0,16	<1,6	<3,2	<6,4	<9,6	<16	<32	<64	<96	≤ 160	>160
* Sólidos totales	<250	<750	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	<8000	<12000	≤ 20000	>20000
* Sulfatos	<25	<50	<75	<100	<150	<250	<400	<600	<1000	≤ 1500	>1500
* Temperatura	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	>45/<-6
* Coliformes Totales	<0,5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15
* Turbidez	<5	<10	<15	<20	<25	<30	<40	<60	<80	≤ 100	>100
Dureza Total	< 75	< 90	< 105	< 120	< 135	<150	< 175	< 200	< 250	≤ 300	> 300
Hierro Total	< 0,01	< 0,05	< 0,5	< 1	< 3	< 5	< 7	< 8	< 9	≤ 10	> 10
Cianuros	< 0,01	< 0,02	< 0,03	< 0,04	< 0,05	< 0,06	< 0,07	< 0,08	< 0,09	≤ 0,1	> 0,1
Coliformes Fecales	< 0,01	< 0,02	< 0,03	< 0,04	< 0,05	< 0,06	< 0,07	< 0,08	< 0,09	≤ 0,1	> 0,1
Bario	< 0,001	< 0,0025	< 0,005	< 0,10	< 0,50	< 1	< 1,25	< 1,50	< 1,75	≤ 2	> 2
Mercurio	< 0,001	< 0,0012	< 0,0014	< 0,0018	< 0,0020	< 0,0025	< 0,003	< 0,0035	< 0,0045	≤ 0,005	> 0,005
Plomo	< 0,001	< 0,005	< 0,01	< 0,05	< 0,075	< 0,10	< 0,14	< 0,16	< 0,18	≤ 0,2	> 0,2
Cadmio	< 0,001	< 0,0025	< 0,0045	< 0,0065	< 0,0085	< 0,01	< 0,0125	< 0,015	< 0,0175	≤ 0,02	> 0,02
Cromo	< 0,001	< 0,05	< 0,10	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,30	< 0,35	< 0,45	≤ 0,50	> 0,50
Arsénico	< 0,001	< 0,002	< 0,003	< 0,004	< 0,005	< 0,01	< 0,05	< 0,07	< 0,09	≤ 0,10	> 0,10
Pesticidas Organoclorados	<0,0001	< 0,0005	< 0,0010	< 0,005	< 0,010	< 0,015	< 0,025	< 0,035	< 0,045	≤ 0,05	> 0,05
Pesticidas Organofosforados	<0,0001	< 0,0005	< 0,005	< 0,035	< 0,045	< 0,055	< 0,065	< 0,075	< 0,085	≤ 0,10	> 0,10

Fuente: \*RIVAS, Z., 2006, CISNEROS, M.2012.

Carlos Sierra, 2011, define un rango de clasificación del índice de calidad de agua para un índice construido y se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9. Rangos de clasificación del IQA-MC**

<b>Valor IQA-MC</b>	<b>Significado</b>
90-100	Agua de muy buena calidad
70-90	Agua de buena calidad
50-70	Agua regularmente contaminada
25-50	Agua altamente contaminada
0-25	Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.

**Fuente: Sierra Ramírez C.A. 2011.**

## **CAPÍTULO III**

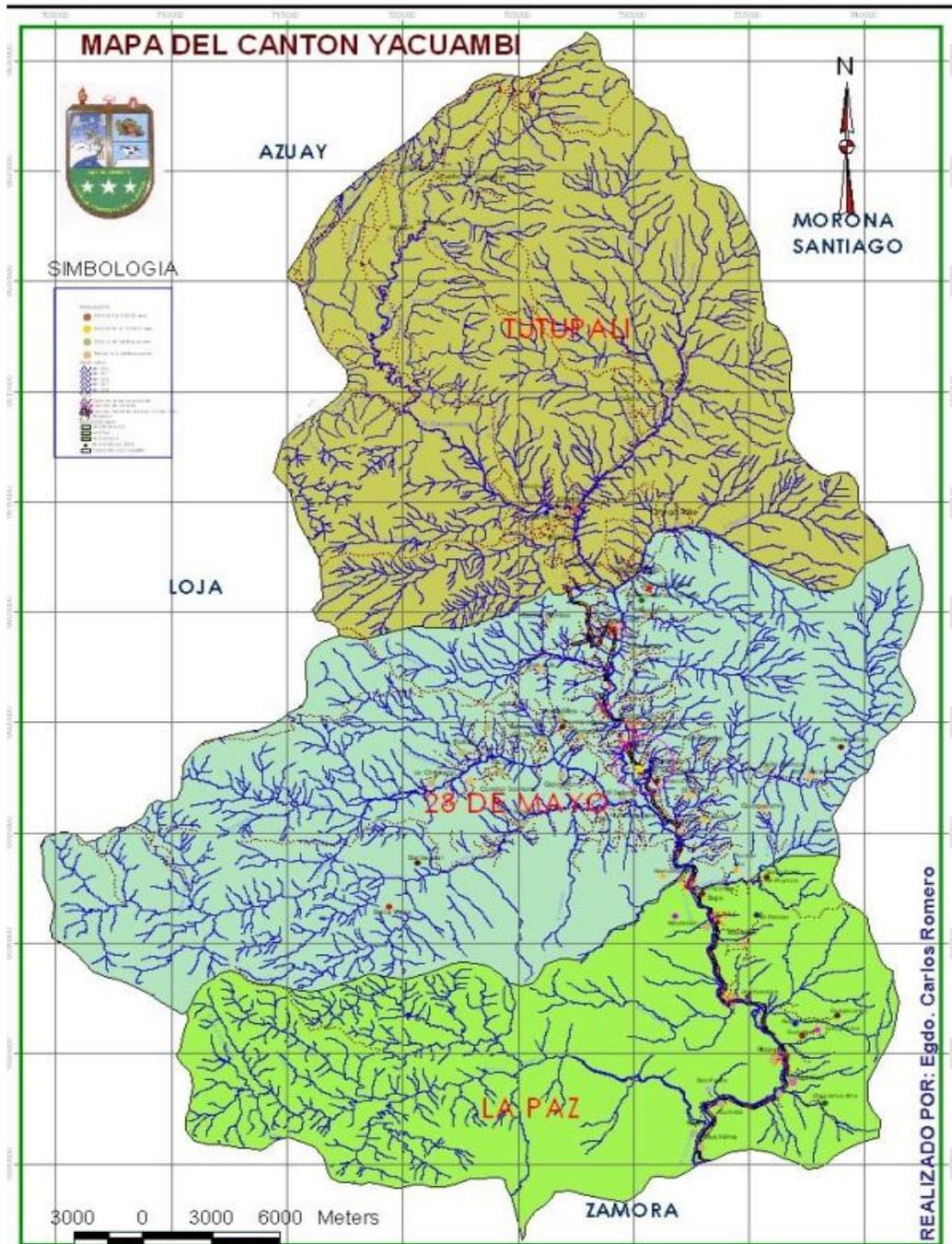
### **CASO DE ESTUDIO**

#### **3.1. Ubicación de la subcuenca Yacuambi**

El cantón Yacuambi se encuentra localizado al norte de la provincia de Zamora Chinchipe, en la cordillera Oriental Zona Sub andina, limitando con las provincias de Loja, Azuay y Morona Santiago, tiene una temperatura promedio anual de 20°C y precipitaciones medias anuales de (2500 a 3000) mm. Abarca ecosistemas del sub trópico y trópico, conformado por vegetación arbórea nativa muy espesa, con cuencas y micro cuencas de gran importancia para la región. La población del cantón es de 6,465.00 hab.

El área de la subcuenca Yacuambi en estudio es de 151 645 hectáreas y su topografía es irregular con pendiente máxima de hasta 70% a medida que se acerca a la cordillera del río Yacuambi.

Figura 2. Subcuenca del cantón Yacuambi



Fuente: Romero, C., 2010.

El río Yacuambi es uno de los mayores tributarios en la cuenca hidrográfica del Zamora y baña el Valle de Yacuambi, que recorre los cantones de Yacuambi y Zamora, sus principales afluentes son: el río Tutupali, Yacuchingari, Shingata, Corral Huaycu, Garcelán, Negro y Quimi.

### 3.2. Diseño de la red de monitoreo

El monitoreo de las descargas de agua residual, requiere una metódica evaluación sobre dónde recolectar las muestras. Aspectos como los puntos de muestreo para descargas y para aguas receptoras se toman en cuenta para diseñar la red de monitoreo, para de esta manera encontrar ubicaciones ideales para la recolección de muestras.

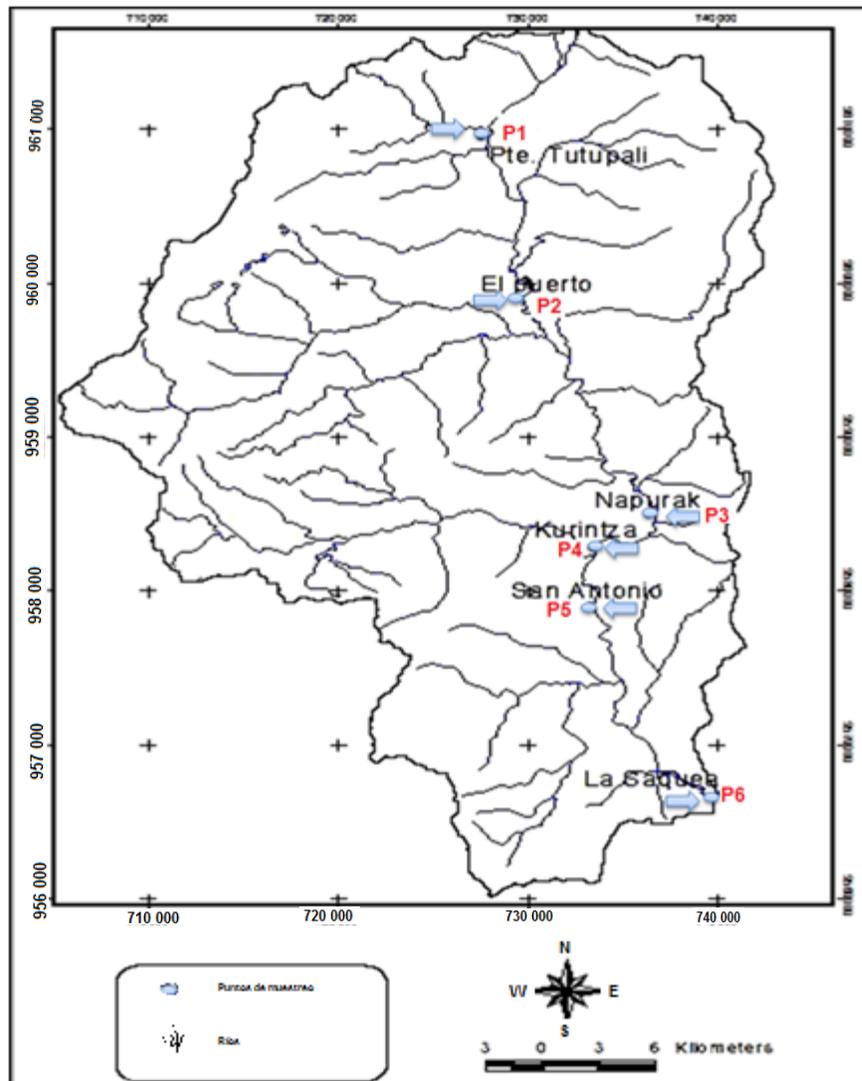
**Tabla 10. Puntos de la red de monitoreo**

<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>SITIO</b>
Yacuambi	Tutupali 28 de Mayo La Paz	Puente de Tutupali El Puerto Napurak
Zamora	Guadalupe	Curintza San Antonio Unión del río Zamora y Yacuambi, sector la Saquea

**Fuente: UTPL- Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe**

El río Yacuambi es receptor de varios cursos de agua que pueden ser afectados por contaminación. Generalmente, se trata de arroyos, ríos, pantanos, lagos, aguas subterráneas en el área, que han sido contaminados por aguas residuales, por desechos de minería y por residuos de pesticidas, es por esto que se decide ubicar los puntos de muestreo aguas debajo de las poblaciones, donde se pueda conocer el grado de polución que se está aportando al río Yacuambi. En la gráfica 3 se puede observar los puntos de muestreo.

Figura 3. Diseño red de monitoreo de la subcuenca Yacuambi



Fuente: UTPL- Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe

Estos puntos permiten determinar:

- Las condiciones de referencia aguas arriba de las actividades de explotación minera, uso doméstico y agrícola.
- Si las actividades de explotación minera y las aguas residuales están contribuyendo a la contaminación de las aguas receptoras y en qué nivel están afectando los contaminantes a las aguas receptoras.

- La muestra de agua se han ubicado aguas debajo de cualquier corriente tributaria que pudiera influir en las características de calidad del agua en el punto de descarga.

Para determinar el punto más adecuado para la estación aguas abajo, se inició recolectando varias muestras en puntos aguas debajo de la descarga para realizar un análisis de la zona de mezcla de la descarga y el agua receptora. La ubicación de los puntos de muestreo aguas abajo del río Yacuambi, se colocó en el punto en el que la descarga se ha mezclado completamente con el agua receptora. (Ver anexo 1).

### **3.3. Muestreo**

Se pueden coleccionar muestras representativas de ríos, arroyos y lagos si se siguen ciertas reglas:

- Se selecciona una localización del muestreo en o cerca de una estación de aforo para que se pueda relacionar la descarga del río con la muestra de la calidad del agua. Si no existe una estación de aforo, se mide la velocidad de flujo en la hora del muestreo.
- A menos que se especifique en el plan de muestreo, se evita localizaciones de muestreo al lado de confluencias o fuentes "punto" de contaminación.
- Se usa puentes o botes para ríos y lagos profundos en donde el andar en el agua es peligroso o no práctico.
- No se colecciona muestras a lo largo de las orillas puesto que ellas pueden no ser representativas de todo el cuerpo de agua; y el uso de guantes apropiados cuando se colecciona la muestra.

- Se selecciona el tipo de muestreo, clasificándose de acuerdo al tiempo, sitio y la profundidad dentro del perfil de agua en que son tomadas las muestras, y son como sigue:
  - a. Muestra instantánea, es aquella muestra que se toma en un mismo sitio y en un momento único.
  - b. Muestra compuesta, es aquella muestra que resulta de la mezcla de muestras recolectadas en un mismo sitio pero en distintos momentos, es decir es la mezcla de varias muestras instantáneas.
  - c. Muestra integrada, son las muestras tomadas especialmente para los parámetros que varían con la profundidad.
  
- El muestreo puede ser manual o automático.

#### **a) Muestreo manual**

Se recomienda cuando se tienen sitios de difícil acceso, éstos se determinan luego de haber realizado el recorrido de campo respectivo, reconociendo los puntos de descargas, las secciones o sitios donde hay cambios importantes en el perfil del cauce. Su principal ventaja es permitir al muestreador identificar y tomar nota de cualquier característica especial de la muestra pudiendo corregir algún error que pueda presentarse, y facilitando la determinación de sustancias flotantes, cambios de color y olor, etc

#### **b) Muestreo automático**

Cuando el punto de muestreo es de muy difícil acceso y se desean tomar muestras compuestas, es conveniente un muestreo automático. Actualmente, están asociados a estaciones de telemetría, que están equipadas con sensores

debidamente calibrados para detectar parámetros que sobrepasan los límites permisibles por la norma, activando automáticamente el muestreador para recolectar la muestra de agua.

Su principal ventaja es el ahorro de la mano de obra y su precisión, aunque requieren continuas revisiones para evitar fallas.

### 3.4. Ubicación de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo al lugar donde la muestra fue representativa, detectando los lugares con facilidades de acceso para hacer uso del equipo de seguridad necesario, igualmente para tomar las precauciones necesarias del transporte y preservación de las muestras, debido a la lejanía de la red de monitoreo.

**Tabla 11. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo**

Punto de muestreo	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Parroquia	Tutupali	28 de Mayo	La Paz	Guadalupe	Guadalupe	Guadalupe
Sitio	Puente de Tutupali	El Puerto	Napurak	Curintza	San Antonio	Unión del río Zamora con el Yacuambi
Altitud (m.s.n.m)	1325,3	1027,5	931,2	888,0	870,4	826,2
Latitud	S 03°31'53,4"	S 03°37'33,1"	S 03°45'09,5"	S 03°46'15,8"	S 03°48'23,2"	S 03°54'59,1"
Longitud	O 78°57'05,5"	O 78°55'57,5"	O 78°52'15,3"	O 78°53'46,9"	O 78°53'57,1"	O 78°50'09,8"

Fuente: UTPL- Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe

Los puntos de muestreo se detallan de acuerdo a su ubicación geográfica, especificando su altitud, latitud y longitud, y de acuerdo al sitio donde se encuentran ubicados.

### 3.5. Procedimiento de toma de muestras y transporte

Las muestras fueron representativas dadas las condiciones existentes en el punto y hora de muestreo, tomando el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes, en la Tabla 12 se detallan las fechas y hora en las que se realizaron los muestreos, indicando la temperatura ambiente y del agua, y la condición atmosférica.

Tabla 12. Datos del muestreo

Fecha de muestreo	Muestreo	Punto	Hora	Condición Atmosférica	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura del agua (°C)
29/11/2010	M1	P1	9:45	Nublado	23,2	16,0
		P2	11:13	Soleado	36,2	18,1
		P3	11:50	Soleado	32,0	21,3
		P4	12:26	Soleado	32,0	23,3
		P5	13:02	Soleado	34,0	22,9
		P6	13:35	Soleado	34,0	24,7
22/09/2011	M2	P1	10:15	Nublado	23,4	15,3
		P2	12:07	Nublado	27,1	17,2
		P3	12:57	Soleado	27,8	19,4
		P4	13:28	Soleado	25,2	18,7
		P5	14:00	Soleado	25,9	18,9
		P6	14:40	Nublado	26,4	19,2
19/10/2011	M3	P1	12:47	Soleado	33,8	14,9
		P2	14:17	Soleado	33,5	17,7
		P3	15:17	Soleado	32,8	19,1
		P4	15:53	Soleado	34,0	19,5
		P5	16:29	Soleado	29,7	19,9
		P6	17:29	Soleado	27,9	21,5
07/12/2011	M4	P1	10:26	Precipitación	23,5	16,2
		P2	11:44	Precipitación	30,5	17,7
		P3	12:36	Soleado	30,5	18,8
		P4	13:03	Soleado	30,6	19,5
		P5	13:29	Soleado	31,3	20,1
		P6	14:14	Soleado	32,0	21,1

...Sigue

...Continúa

Fecha de muestreo	Muestreo	Punto	Hora	Condición Atmosférica	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura del agua (°C)
23/01/2012	M5	P1	9:50	Nublado	25,8	16,4
		P2	13:00	Precipitación	27,0	18,2
		P3	14:52	Nublado	32,9	19,3
		P4	15:33	Soleado	34,5	20,2
		P5	16:00	Soleado	34,2	20,6
		P6	17:05	Soleado	32,4	21,3

Fuente: Autora

Se realizaron cinco muestreos, para caracterizar el agua del río, analizando parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Para la toma de muestras en el río Yacuambi se evitaron las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente, y la distancia comprendida entre las orillas. El técnico encargado de muestrear se ubicó en dirección opuesta al flujo, cumpliendo la normativa técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización, NTE INEN 2176:98, técnicas de muestreo.

Para los parámetros medidos In Situ se utilizó el multímetro y el termómetro, sumergiéndolos directamente en el río, en la mitad de la sección transversal, a una profundidad entre (20 y 30) cm de la superficie, en una zona de poca turbulencia y se procede a la lectura.

Una vez recolectadas las muestras, éstas se transportaron hasta el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja, en el menor tiempo posible, tomando en consideración que la distancia entre el sitio de muestreo y el laboratorio es larga, se preservaron las muestras a una temperatura de 4°C, de acuerdo a la Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización INEN 2169:98, manejo y conservación de las muestras.

### 3.6. Parámetros analizados y métodos de análisis

Algunos de los parámetros analizados se realizaron In Situ, como el oxígeno disuelto y la temperatura, parámetros físicos, químicos, bacteriológicos, pesticidas y metales pesados fueron analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Particular de Loja, la Tabla 13 detalla el método y/o equipo utilizado para el análisis de cada uno de los parámetros analizados.

**Tabla 13. Método de análisis de los parámetros**

<b>Parámetro</b>	<b>Método / Equipo</b>
pH	Potenciómetro
Sólidos Totales	Gravimétrico
Nitrito	Espectrofotómetro
Nitrato	Espectrofotómetro
Cloruro	Precipitación
Aceites y grasas	Gravimétrico
Dureza Total	Volumétrico
Cloro libre residual	Volumétrico
Cianuro	Espectrofotómetro
Sulfato	Espectrofotómetro
Oxígeno Disuelto	Potenciómetro
DBO	Espectrofotómetro
DQO	Espectrofotómetro
Coliformes totales	Standard Methods
Coliformes fecales	Standard Methods
Color	Espectrofotómetro
Turbiedad	Turbidímetro
Hierro total	Espectrofotómetro
Temperatura	Termómetro
Metales pesados	Espectrofotómetro de absorción atómica
Pesticidas Organoclorados	Cromatografía de gases
Pesticidas Organofosforados	Cromatografía de gases

**Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja**

### 3.7. Resultados de los ensayos

A continuación se presentan los resultados de las concentraciones, obtenidos en los ensayos, por parámetro y en cada punto de muestreo.

**Tabla 14. Resultados del primer muestreo**

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
pH	adimensional	6,63	7,04	7,15	7,40	7,35	7,580
Turbiedad	UTN	1,12	2,50	1,24	1,45	1,40	17,200
Cloruro	mg/l	7,50	7,75	7,25	9,00	6,50	7,250
Sulfato	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
Dureza Total	mg/l	10,00	15,00	20,00	20,00	20,00	20,000
Nitrato	mg/l	0,20	1,00	1,50	0,50	0,40	1,300
Nitrito	mg/l	0,01	0,00	0,01	0,007	0,01	0,010
Hierro Total	mg/l	0,16	0,11	0,11	0,09	0,01	0,460
Conductividad Eléctrica	µs/cm	5,00	7,20	12,00	15,00	28,00	22,000
Fosfatos	mg/l	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,400
Ox.Disuelto	mg/l	9,18	9,04	8,67	8,77	8,64	8,630
% Saturación	%	109,00	108,40	109,90	115,40	112,50	115,900
Sólidos Totales	mg/l	25,00	35,00	39,00	41,00	41,00	71,000
Cloro libre residual	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
Color real	U. de color	23,00	28,00	21,00	17,00	13,00	83,000
Aceites y Grasas	mg/l	0,00	0,10	0,10	0,20	0,10	0,200
DBO	mg/l	5,00	8,00	11,00	6,00	9,50	14,000
DQO	mg/l	10,00	16,00	22,00	12,00	19,00	28,000
Cianuros	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002
Coliformes fecales	UFC/100 ml	20,00	26,00	30,00	43,00	60,00	554,000
Coliformes totales	UFC/100 ml	290,00	380,00	440,00	640,00	900,00	8200,000
Temperatura Ambiente	°C	23,20	36,20	32,00	32,00	34,00	34,000
Temperatura Agua	°C	16,00	18,10	21,30	23,30	22,90	24,700
<b>METALES PESADOS</b>							
Bario	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mercurio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Plomo	mg/l	0,012	0,021	0,018	0,026	0,022	0,011
Cadmio	mg/l	0,005	0,005	0,009	0,000	0,004	0,008
Cromo	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arsénico	mg/l	0,009	0,011	0,008	0,010	0,709	0,007

...Sigue

...Continúa

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
Magnesio	mg/l	0,353	0,381	0,613	0,681	0,013	0,980
<b>PESTICIDAS ORGANOCORADOS</b>							
Aldrín	mg/l	9,20E-04	8,70E-04	8,90E-04	0,00E+00	9,20E-04	0,00088
Beta HCH	mg/l	7,50E-06	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000
2-4 DDT	mg/l	5,10E-04	6,30E-05	5,50E-05	5,00E-05	6,10E-05	0,000
4-4 DDT	mg/l	0,00E+00	0,000	5,00E-04	6,10E-04	5,80E-04	0,00061
Metoxicloro	mg/l	0,00E+00	0,000	0,00E+00	0,00E+00	4,90E-07	0,00000082
Heptacloro	mg/l	2,70E-03	2,10E-03	0,000	3,50E-03	3,60E-03	0,004
Alfa HCH	mg/l	7,10E-03	6,80E-03	8,70E-03	7,80E-03	0,000	0,008
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>							
Fonofos	mg/l	4,50E-05	5,50E-05	0,000	0,00E+00	0,000	0,000
Fenamifos	mg/l	6,40E-06	6,20E-06	6,00E-06	0,00E+00	4,20E-05	0,000
Quinalfos	mg/l	9,60E-07	8,70E-07	0,000	7,80E-04	0,00E+00	5,40E-06
Pirifos metil	mg/l	6,50E-04	0,000	0,000	2,50E-08	7,60E-07	8,30E-07
Malation	mg/l	0,000	8,90E-08	0,000	8,20E-08	0,00E+00	0,000
Dimetoato	mg/l	0,000	0,000	7,30E-07	0,000	2,20E-07	0,00000065
Carbofenotion	mg/l	0,000	0,000	1,20E-08	0,000	3,20E-08	0,00000032

**Fuente: UTPL- Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe**

Los metales pesados encontrados fueron, bario, mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico y magnesio, además se analizaron pesticidas organoclorados como: aldrín, beta HCH, 2-4 DDT, 4-4 DDT, metoxicloro, heptacloro, alfa HCH y pesticidas organofosforados como, fonofos, Fenamifos, Quinalfos, pirifos metil, malation, dimetoato y Carbofenotion.

**Tabla 15. Resultados del segundo muestreo**

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
pH	adimensional	6,00	6,44	6,93	6,76	6,97	7,17
Turbiedad	UTN	7,00	13,50	4,89	6,35	4,43	15,10
Cloruro	mg/l	2,10	0,90	0,90	1,00	0,90	1,50
Sulfato	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dureza Total	mg/l	2,50	5,00	10,00	7,50	7,50	12,50
Nitrato	mg/l	1,60	1,30	1,10	0,80	0,60	2,60
Nitrito	mg/l	0,005	0,004	0,010	0,013	0,005	0,047
Hierro Total	mg/l	0,06	0,06	0,02	0,14	0,05	0,03
Conductividad Eléctrica	µs /cm	3,00	8,16	15,60	11,29	11,56	19,34
Fosfatos	mg/l	0,17	0,19	0,62	0,27	0,29	0,32
Ox.Disuelto	mg/l	9,28	9,18	9,01	9,14	9,07	8,85
% Saturación	%	107,70	107,30	109,20	108,70	108,20	106,00
Sólidos Totales	mg/l	8,00	30,00	65,00	37,00	45,00	67,00
Cloro libre residual	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Color real	U. de color	72,00	80,00	42,00	55,00	53,00	99,00
Aceites y Grasas	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20
DBO	mg/l	28,00	26,00	32,00	27,00	22,00	22,00
DQO	mg/l	56,00	52,00	64,00	54,00	44,00	44,00
Cianuros	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes fecales	UFC/100 ml	125,00	110,00	85,00	115,00	145,00	190,00
Coliformes totales	UFC/100 ml	1800,00	1600,00	1200,00	1700,00	2100,00	2800,00
Temperatura Ambiente	°C	23,40	27,10	27,80	25,20	25,90	26,40
Temperatura Agua	°C	15,30	17,20	19,40	18,70	18,90	19,20
<b>METALES PESADOS</b>							
Bario	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mercurio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Plomo	mg/l	0,113	0,011	0,010	0,010	0,002	0,008
Cadmio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cromo	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arsénico	mg/l	0,017	0,016	0,040	0,035	0,047	0,040
Magnesio	mg/l	0,172	0,402	0,900	0,415	0,485	0,635

...Sigue

...Continúa

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>							
Aldrín	mg/l	3,40E-02	2,20E-02	2,70E-02	3,20E-02	1,20E-02	2,10E-02
Beta HCH	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-4 DDT	mg/l	0,000	7,00E-05	6,40E-05	5,90E-05	8,70E-05	6,40E-05
4-4 DDT	mg/l	5,30E-05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metoxicloro	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Heptacloro	mg/l	6,20E-03	5,70E-03	6,10E-03	5,90E-03	4,70E-03	5,30E-03
Alfa HCH	mg/l	2,10E-04	2,00E-04	1,60E-04	2,00E-04	3,70E-04	2,80E-04
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>							
Fonofos	mg/l	6,40E-05	8,00E-05	8,30E-05	7,70E-05	8,50E-05	7,00E-05
Fenamifos	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Quinalfos	mg/l	3,40E-05	4,40E-05	3,90E-05	3,40E-05	5,80E-05	3,90E-05
Pirifos metil	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Malation	mg/l	1,90E-05	2,40E-05	2,70E-05	1,90E-05	1,50E-05	2,30E-05
Dimetoato	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Carbofenotion	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Autora

Tabla 16. Resultados del tercer muestreo

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
pH	adimensional	6,06	7,08	7,52	7,31	6,75	6,79
Turbiedad	UTN	2,24	2,06	2,56	2,49	2,85	2,85
Cloruro	mg/l	12,50	9,50	3,50	5,00	6,00	10,00
Sulfato	mg/l	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dureza Total	mg/l	2,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Nitrato	mg/l	0,15	1,50	0,90	1,00	0,51	1,80
Nitrito	mg/l	0,01	0,02	0,004	0,007	0,008	0,03
Hierro Total	mg/l	0,12	0,19	0,12	0,16	0,10	0,14
Conductividad Eléctrica	µs /cm	10,96	20,68	27,92	28,76	29,10	29,64
Fosfatos	mg/l	0,16	0,22	0,19	0,18	0,18	0,19
Ox.Disuelto	mg/l	9,20	8,87	8,80	8,82	8,71	8,53
% Saturación	%	100,00	106,10	107,10	107,80	106,90	107,50
Sólidos Totales	mg/l	18,00	36,00	33,00	24,00	23,00	28,00
Cloro libre residual	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Color real	U. de color	30,00	26,00	27,00	27,00	24,00	32,00

...Sigue

...Continúa

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
Aceites y Grasas	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20
DBO	mg/l	13,00	21,00	26,00	18,00	21,00	24,00
DQO	mg/l	26,00	42,00	52,00	36,00	42,00	48,00
Cianuros	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes fecales	UFC/100 ml	23,00	30,00	45,00	35,00	80,00	90,00
Coliformes totales	UFC/100 ml	340,00	450,00	660,00	510,00	1160,00	1300,00
Temperatura Ambiente	°C	33,80	33,50	32,80	34,00	29,70	27,90
Temperatura Agua	°C	14,90	17,70	19,10	19,50	19,90	21,50
<b>METALES PESADOS</b>							
Bario	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mercurio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Plomo	mg/l	0,012	0,007	0,007	0,009	0,007	0,008
Cadmio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cromo	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arsénico	mg/l	0,093	0,094	0,132	0,135	0,111	0,100
Magnesio	mg/l	0,189	0,488	0,870	0,980	1,360	1,380
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>							
Aldrín	mg/l	2,90E-02	3,10E-02	3,10E-02	3,80E-02	2,30E-02	2,00E-02
Beta HCH	mg/l	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000
2-4 DDT	mg/l	0,000	6,60E-05	5,30E-05	6,10E-05	0,000	0,000
4-4 DDT	mg/l	0,000	0,00E+00	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,000
Metoxicloro	mg/l	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000
Heptacloro	mg/l	8,10E-03	7,40E-03	0,000	4,80E-03	5,10E-03	6,20E-03
Alfa HCH	mg/l	2,40E-04	2,20E-04	2,10E-04	2,00E-04	2,90E-04	3,20E-04
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>							
Fonofos	mg/l	7,90E-05	6,60E-05	9,10E-05	6,90E-05	7,90E-05	6,70E-05
Fenamifos	mg/l	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000
Quinalfos	mg/l	2,30E-05	2,80E-05	3,40E-05	2,90E-05	6,60E-05	4,60E-05
Pirifos metil	mg/l	0,00E+00	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000
Malation	mg/l	9,80E-06	2,00E-05	2,10E-05	2,10E-05	1,30E-05	1,00E-05
Dimetoato	mg/l	0,000	0,000	0,00E+00	0,000	0,000	0,000
Carbofenotion	mg/l	0,000	0,000	0,00E+00	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Fuente: Autora

**Tabla 17. Resultados del cuarto muestreo**

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
pH	adimensional	6,05	6,26	6,44	6,45	6,24	7,03
Turbiedad	UTN	9,23	43,20	31,70	26,10	18,60	22,00
Cloruro	mg/l	6,60	7,35	6,75	11,35	7,35	9,35
Sulfato	mg/l	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Dureza Total	mg/l	2,50	2,50	5,00	5,00	7,50	7,50
Nitrato	mg/l	2,00	4,30	3,40	2,90	4,10	3,20
Nitrito	mg/l	0,01	0,01	0,003	0,00	0,00	0,02
Hierro Total	mg/l	0,29	0,20	0,27	0,46	0,93	0,47
Conductividad Eléctrica	µs/cm	6,04	8,22	12,05	15,58	24,50	19,80
Fosfatos	mg/l	0,15	0,15	0,13	0,13	0,16	0,09
Ox.Disuelto	mg/l	9,82	9,79	9,61	9,54	9,42	9,01
% Saturación	%	116,90	116,20	115,30	105,80	115,50	112,30
Sólidos Totales	mg/l	79,00	350,00	382,00	422,00	286,00	401,00
Color real	U. de color	119,00	400,00	353,00	264,00	187,00	218,00
Aceites y Grasas	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBO	mg/l	33,00	32,00	37,00	38,00	63,00	64,00
DQO	mg/l	66,00	64,00	74,00	76,00	126,00	128,00
Cianuros	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes fecales	UFC/100 ml	500,00	800,00	660,00	2000,00	3300,00	6000,00
Coliformes totales	UFC/100 ml	7400,00	68000,00	79000,00	300000,00	500000,00	800000,00
Temperatura Ambiente	°C	23,50	36,50	30,50	30,60	32,00	32,00
Temperatura Agua	°C	16,20	17,70	18,80	19,50	20,10	21,10
<b>METALES PESADOS</b>							
Bario	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mercurio	mg/l	0,000	0,365	0,000	0,000	0,000	0,000
Plomo	mg/l	0,005	0,010	0,019	0,014	0,014	0,008
Cadmio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cromo	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arsénico	mg/l	0,098	0,104	0,140	0,137	0,123	0,109
Magnesio	mg/l	0,145	0,445	0,590	0,509	0,812	0,905
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>							
2-4 DDT	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	4,28E-06	0,00E+00
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>PUNTO 4</b>	<b>PUNTO 5</b>	<b>PUNTO 6</b>
4-4 DDT	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	8,80E-06	0,00E+00

Fuente: Autora

**Tabla 18. Resultados del quinto muestreo**

Parámetro	Unidad	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
pH	adimensional	5,260	5,530	6,050	6,110	6,080	6,140
Turbiedad	UTN	4,700	10,100	10,000	17,200	28,000	43,700
Cloruro	mg/l	3,000	4,000	3,000	6,500	4,000	8,000
Sulfato	mg/l	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
Dureza Total	mg/l	5,000	2,000	3,000	2,000	6,000	4,000
Nitrato	mg/l	0,800	1,100	1,500	1,800	2,300	3,700
Nitrito	mg/l	0,008	0,023	0,015	0,007	0,006	0,003
Hierro Total	mg/l	0,170	0,270	0,260	0,570	0,840	1,120
Conductividad Eléctrica	µs/cm	4,001	7,242	9,149	71,600	8,683	10,439
Fosfatos	mg/l	0,280	0,290	0,390	0,420	0,440	0,540
Ox.Disuelto	mg/l	9,220	9,060	8,870	8,670	8,570	8,460
% Saturación	%	110,200	109,000	107,800	107,200	107,000	106,400
Sólidos Totales	mg/l	41,000	61,000	57,000	85,000	96,000	91,000
Cloro libre residual	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Color real	U. de color	42,000	89,000	102,000	173,000	268,000	375,000
Aceites y Grasas	mg/l						
DBO	mg/l	7,000	6,000	7,500	8,500	9,000	13,000
DQO	mg/l	14,000	12,000	15,000	17,000	18,000	26,000
Cianuros	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Coliformes fecales	UFC/100 ml	90,000	130,000	280,000	390,000	320,000	460,000
Coliformes totales	UFC/100 ml	1900,000	40000,000	500000,00	520000,00	620000,00	790000,0
Temperatura Ambiente	°C	25,800	27,000	32,900	40,500	34,200	32,400
Temperatura Agua	°C	16,400	18,200	19,300	20,200	20,600	21,300
<b>METALES PESADOS</b>							
Bario	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mercurio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Plomo	mg/l	0,001	0,001	0,003	0,005	0,002	0,009
Cadmio	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cromo	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arsénico	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Magnesio	mg/l	0,146	0,258	0,416	2,450	0,635	0,780

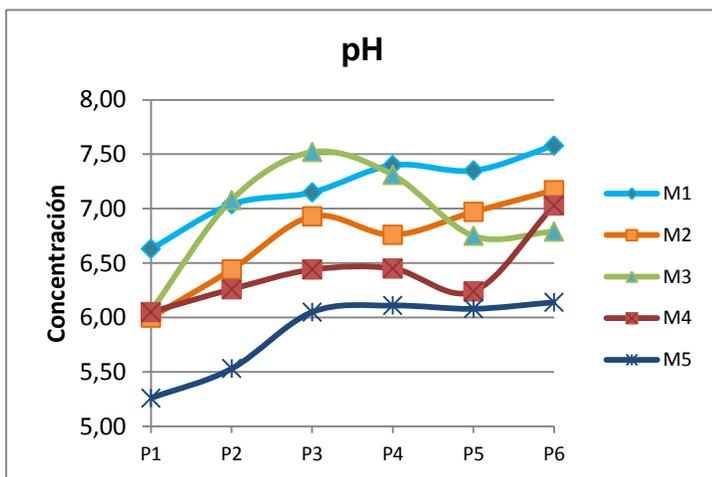
Fuente: Autora

Los valores que no se mencionan en el cuarto y quinto muestreo se debe a que el resultado obtenido es menor que el límite de detección del método, por lo cual se los considera ausentes.

### **3.8. Análisis de resultados de los ensayos por parámetro**

A continuación se presentan las gráficas de variación de cada uno de los parámetros analizados por punto y por muestreo, a lo largo del río Yacuambi desde Tutupali hasta la Saquea, sitio de unión del río Zamora con el río Yacuambi, haciendo una comparación con los límites permisibles del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, anexo al título IV y de la Normativa ambiental ecuatoriana vigente de diciembre de 2002 , relativa a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Gráfica 40. Variación pH**



Fuente: Autora

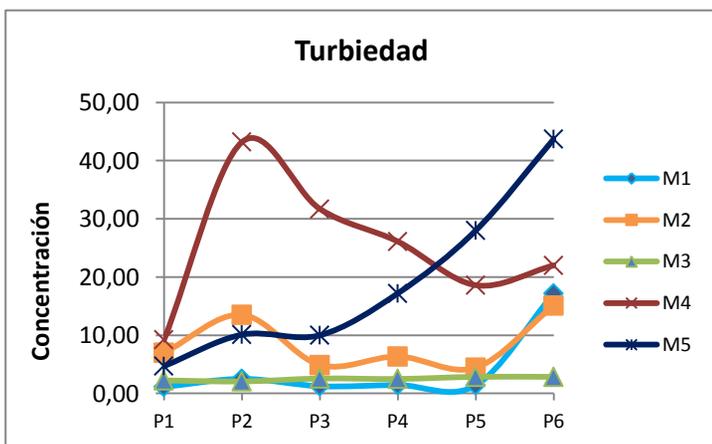
**Rango permisible : unidades de pH**

**ECUADOR**  
5,0 – 9,0

**UNIÓN EUROPEA**  
5,5 - 9,5

Los valores varían en un rango de (5,26 a 7,58) unidades de pH, lo cual indica una ligera tendencia de alcalinidad. Ésta variación puede deberse a los aumentos de temperatura, de acuerdo al pH puede establecerse un buen nivel de desarrollo para la vida acuática.

**Gráfica 41. Variación turbiedad.**



Fuente: Autora

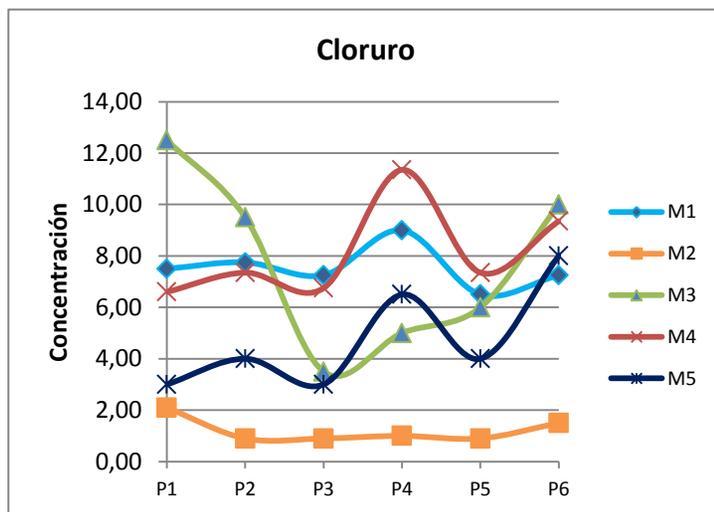
**Rango permisible: UTN**

**ECUADOR**  
-

**UNIÓN EUROPEA**  
-

Los valores varían en un rango de (2,06 a 43,7) UTN, lo cual indica una afectación al desarrollo de alguna clase de peces, al interferir con la profundidad de penetración de la luz, que se debe a la presencia de partículas que pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica. La norma ecuatoriana y el real decreto de la unión europea no establecen un límite permisible.

**Gráfica 42. Variación de Cloruro**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

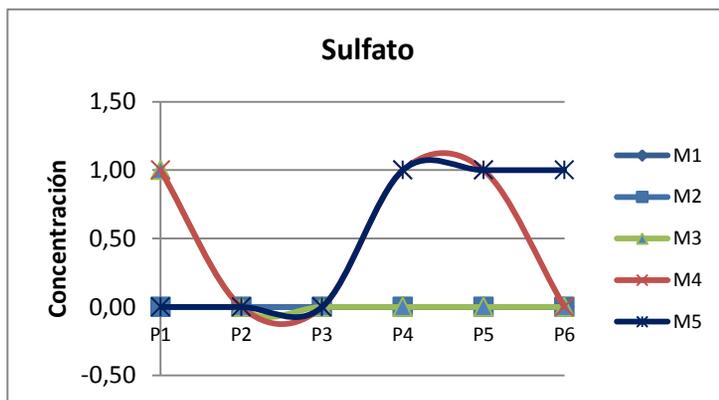
**UNIÓN EUROPEA**

**1000,0**

**2000,0**

Los valores varían entre (0,9 y 12,5) mg/l, los cuales se encuentran dentro del rango permitido, lo que determina que no se necesita desinfección para este parámetro dentro del tratamiento, ya que no representa peligro para la salud humana, la flora o la fauna del lugar en estudio. Se observa permisibilidad en el reglamento del dominio público hidráulico del real decreto 849/86.

**Gráfica 43. Variación Sulfato**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

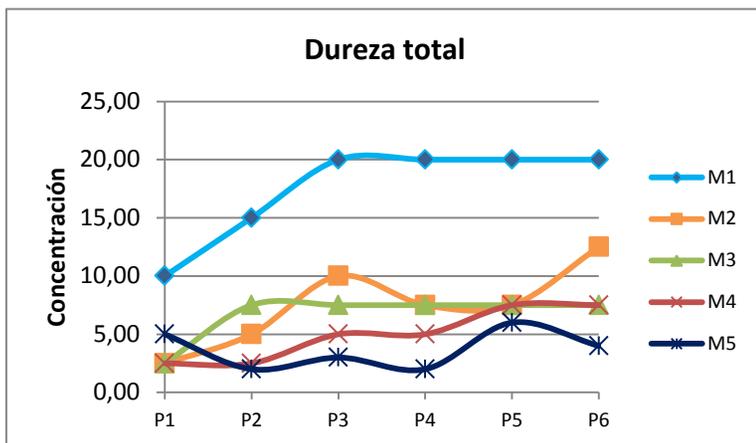
**UNIÓN EUROPEA**

**1000,0**

**2000,0**

Los valores varían entre (0,0 y 1,0) mg/l, lo que indica que no existe contaminación por sulfatos a lo largo del muestreo, en ningún punto.

**Gráfica 44. Variación de Dureza total**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

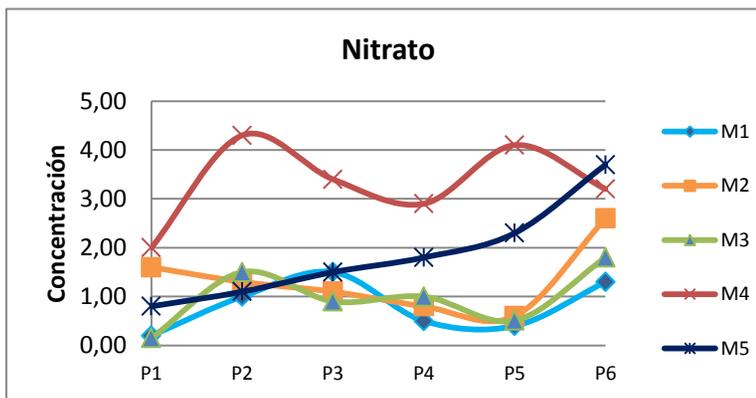
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

Los valores varían entre (2,0 y 20,0) mg/l, lo cual indica un agua blanda, permitiendo el fácil desarrollo de la vida acuática. Tanto la normativa ecuatoriana como el real decreto 849/86 no establecen un límite de permisibilidad.

**Gráfica 45. Variación del nitrato**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

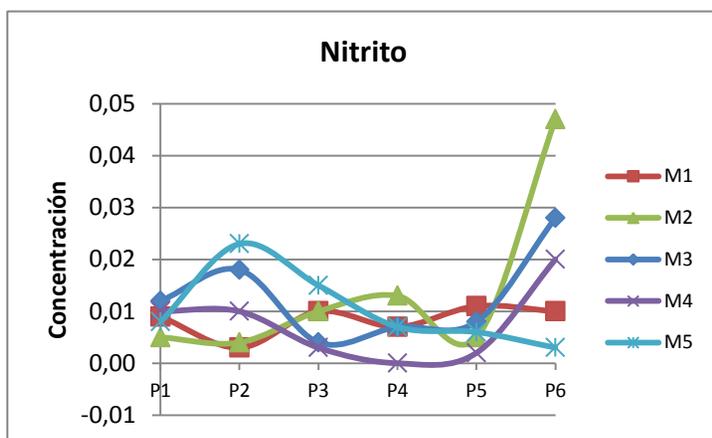
**UNIÓN EUROPEA**

**10,0**

**10,0**

Los valores varían entre (0,15 y 4,3) mg/l, cumpliendo los límites permisibles por la norma ecuatoriana y por el real decreto de la unión europea, lo que indica que la descomposición natural de proteínas de plantas o animales por medio de microorganismos es baja.

**Gráfica 46. Variación de nitrito**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

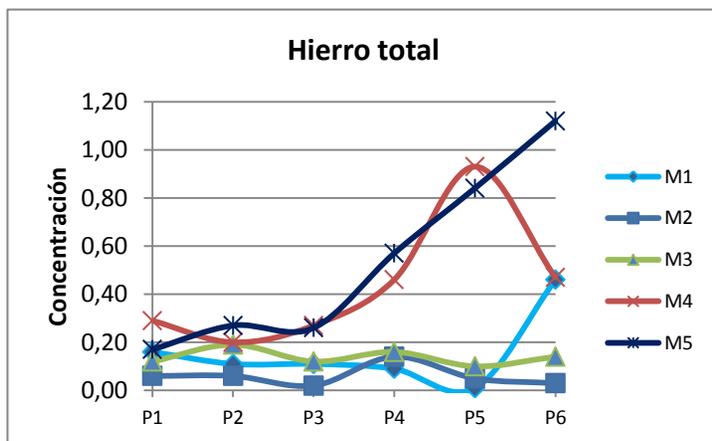
**UNIÓN EUROPEA**

**10,0**

**10,0**

Los valores varían entre (0,003 y 0,047) mg/l cumpliendo los límites permisibles para consumo humano de acuerdo a las normas tanto ecuatoriana como de la unión europea, indicando la ausencia de contaminación orgánica.

**Gráfica 47. Variación hierro total**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

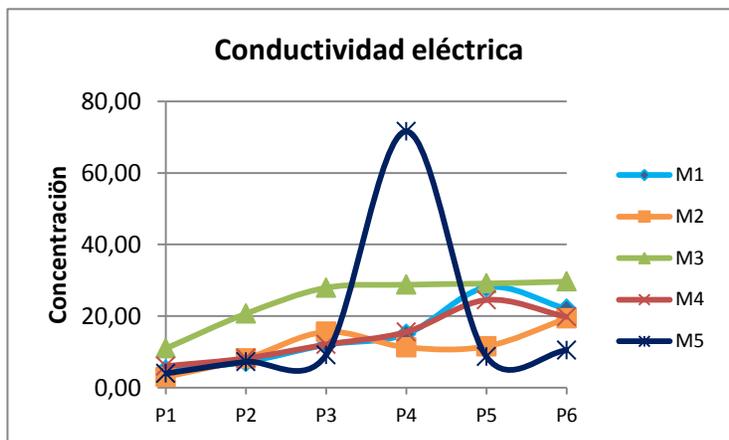
**UNIÓN EUROPEA**

**10,0**

**2,0**

Los valores varían entre (0,02 y 1,12) mg/l, indicando variaciones de tendencia a la alta con respecto a los límites permisibles de acuerdo a las normas tanto ecuatoriana como de la unión europea.

**Gráfica 48. Variación conductividad eléctrica**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

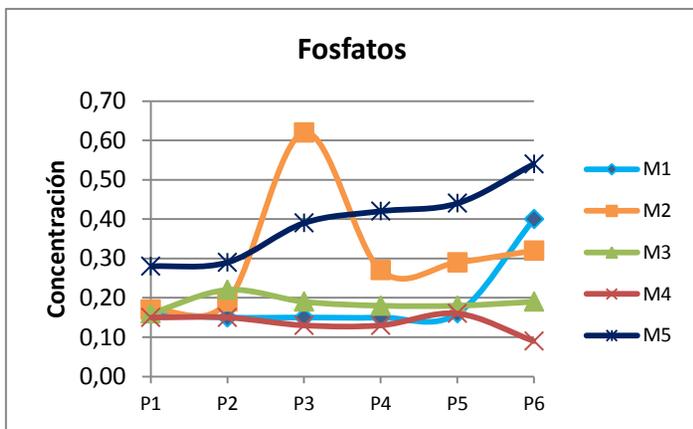
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

Los valores varían entre (3,0 y 71,6) mg/l, existe un aumento a lo largo del río, con tendencia de continuidad, depende de la temperatura, a menor temperatura menor conductividad eléctrica, se observa la ausencia de este límite permisible en la norma ecuatoriana y en el real decreto 849/86.

**Gráfica 49. Variación fosfato**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

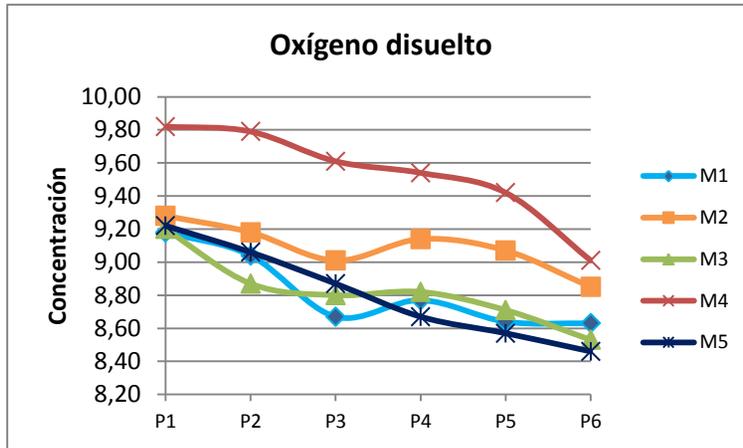
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

Los valores varían entre (0,09 y 0,62) mg/l, observando una baja concentración, límite que la norma ecuatoriana y el real decreto 849/86, no establece.

**Gráfica 50. Variación Oxígeno Disuelto**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

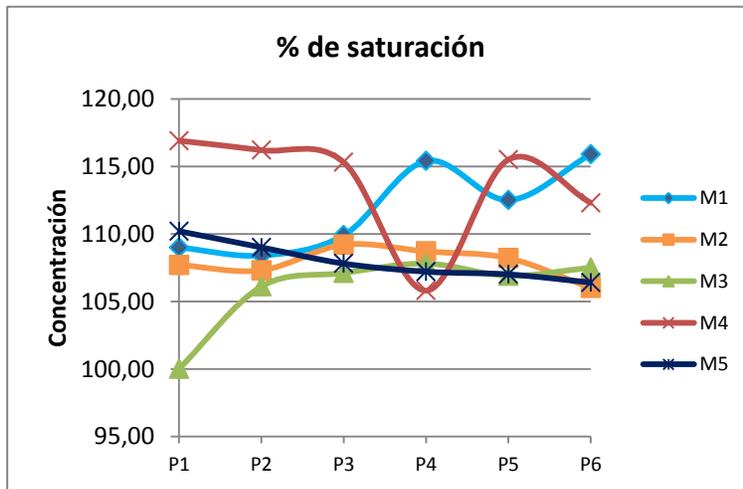
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

Los valores varían entre (8,63 y 9,82 mg/l), observando una tendencia de baja, valores que el decreto de la unión europea y la norma ecuatoriana no establece.

**Gráfica 51. Variación % saturación**



Fuente: Autora

**Rango permisible: %**

**ECUADOR**

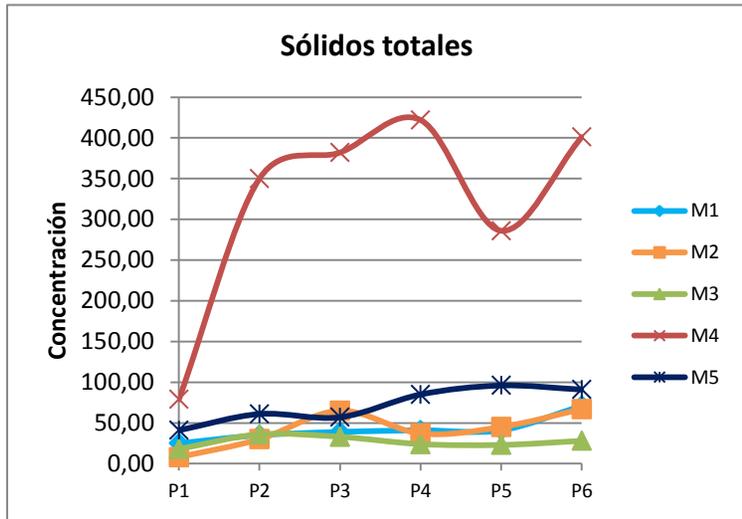
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

Los valores varían entre (100,0 y 116,9) %, se observa una tendencia de alta, lo que significa el buen desarrollo de la vida acuática debido a este parámetro, no existe un límite permisible por la norma ecuatoriana y por el decreto de la unión europea para descargas a un cauce.

**Gráfica 52. Variación sólidos totales**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

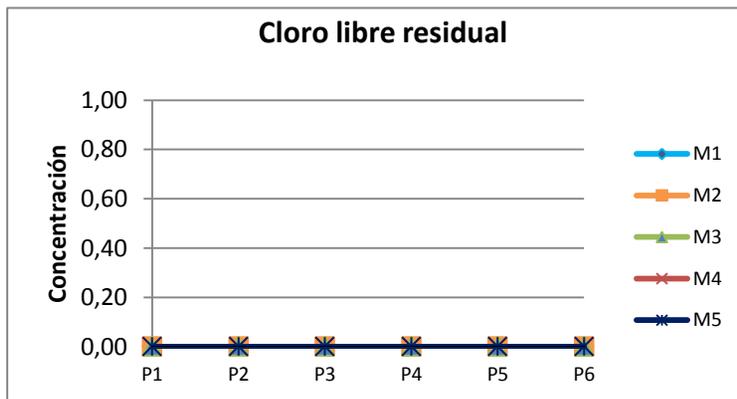
**UNIÓN EUROPEA**

100,0

80,0

Los valores varían entre (8,0 y 422,0) mg/l, excediendo el límite permitido por la norma ecuatoriana y por el real decreto 849/86, el cuarto muestreo indica la presencia de una concentración considerada de sales mineras disueltas en el agua, que se debe a la presencia de precipitaciones por época invernal.

**Gráfica 53. Variación cloro libre residual**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

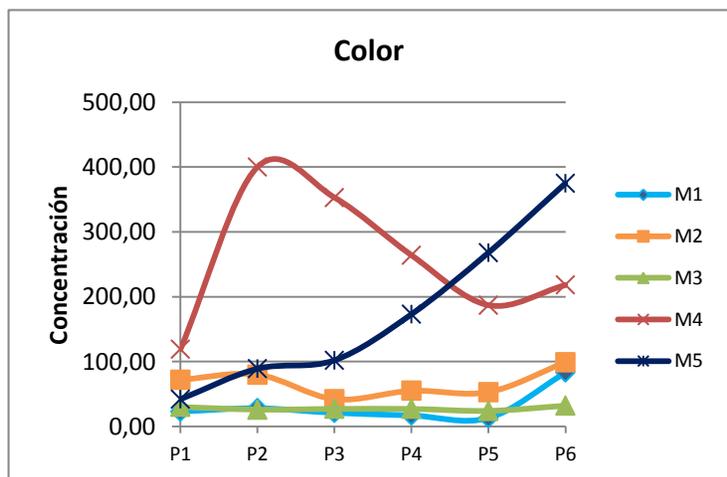
**UNIÓN EUROPEA**

-

-

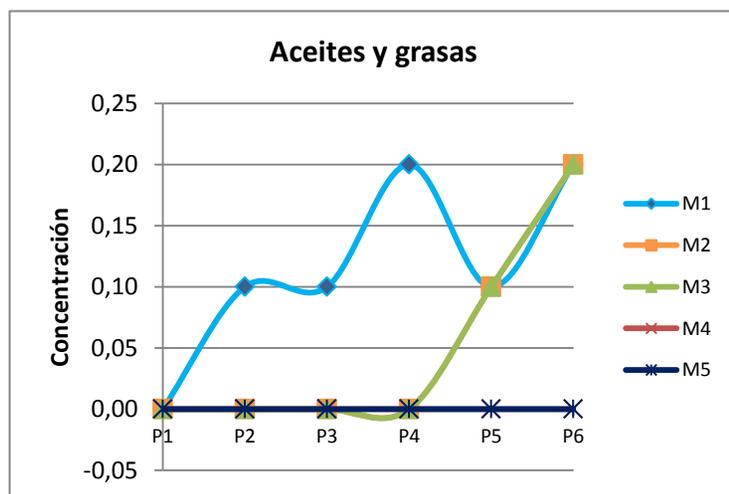
Los valores de cloro residual se mantienen en 0,0 mg/l a lo largo del río, el real decreto 849/86 y la norma ecuatoriana no establecen un valor permisible para este parámetro.

**Gráfica 54. Variación color real**



Fuente: Autora

**Gráfica 55. Variación aceites y grasas**



Fuente: Autora

**Rango permisible: unidades de color**

ECUADOR	UNIÓN EUROPEA
0,05	0,05

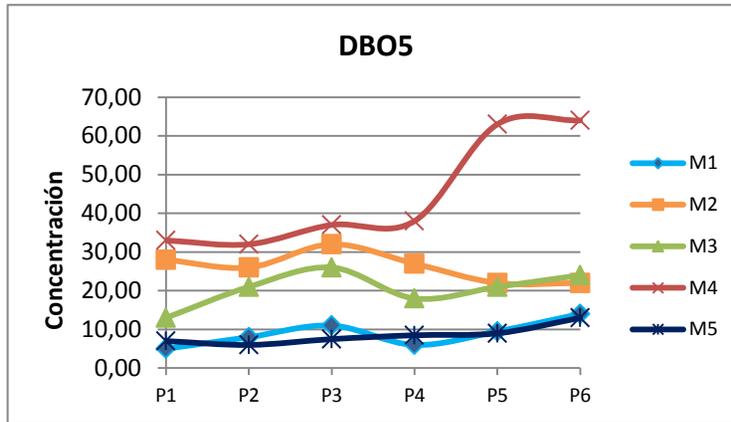
Los valores varían entre (17,0 y 400,0) unidades de color, excediendo el límite permitido por la norma ecuatoriana y el límite permitido por el decreto de la unión europea para vertidos a un cauce natural, el color depende de la turbidez y de los sólidos totales del agua.

**Rango permisible: mg/l**

ECUADOR	UNIÓN EUROPEA
0,3	20,0

Los valores varían entre (0,0 y 0,2) mg/l, cumpliendo el límite permitido por la norma ecuatoriana y por el decreto de la unión europea, se observa la permisibilidad de la unión europea ante este parámetro.

**Gráfica 56. Variación DBO5**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

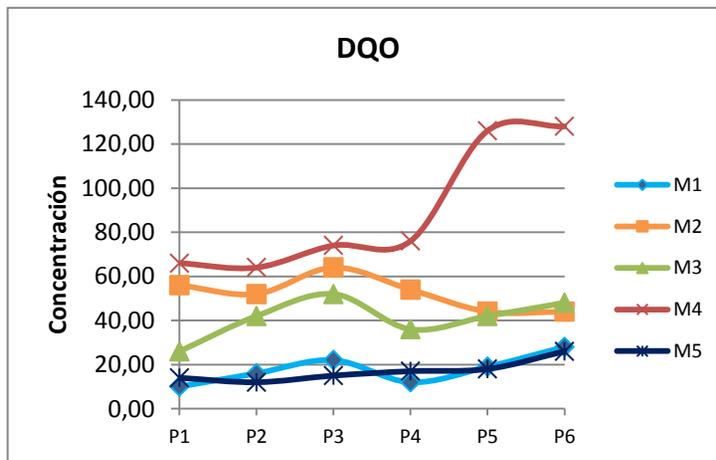
**UNIÓN EUROPEA**

**100,0**

**40,0**

Los valores varían entre (5,0 y 64,0) mg/l, cumpliendo los límites permitidos por la norma ecuatoriana y por el decreto de la unión europea, de acuerdo a estos valores se podría afirmar la presencia de materia orgánica. Se observa gran permisibilidad de la norma ecuatoriana.

**Gráfica 57. Variación DQO**



Fuente: Autora

**Rango permisible:**

**ECUADOR**

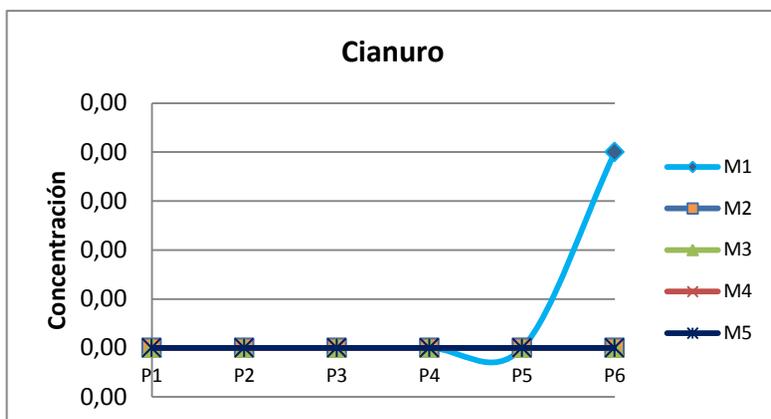
**UNIÓN EUROPEA**

**250,0**

**160,0**

Los valores varían entre (10,0 y 128,0) mg/l, los cuales cumplen con el límite establecido tanto en la norma ecuatoriana como en el real decreto 849/86, la norma ecuatoriana es más permisible que el real decreto 849/86.

**Gráfica 58. Variación Cianuro**



Fuente: Autora

**Rango permisible: mg/l**

**ECUADOR**

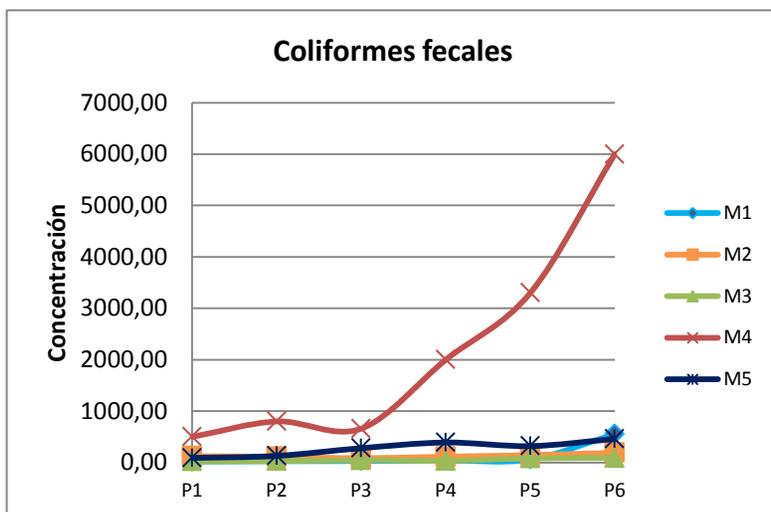
**UNIÓN EUROPEA**

**0,1**

**0,5**

Los valores varían entre (0,0 y 0,02) mg/l, cumpliendo el límite permitido por la norma ecuatoriana y por el decreto de la unión europea para vertidos a un cauce natural.

**Gráfica 59. Variación coliformes fecales**



Fuente: Autora

**Rango permisible: UFC/100 ml**

**ECUADOR**

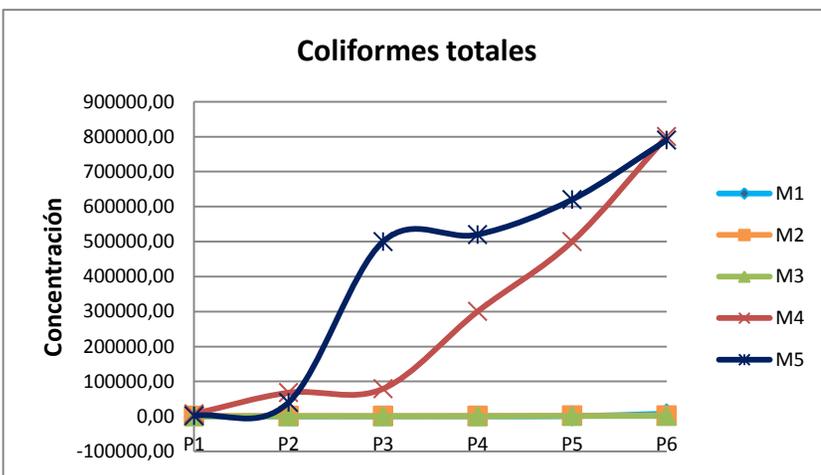
**UNIÓN EUROPEA**

**Remoción > 99,9%**

**-**

Los valores varían entre (23,0 y 6000,0) UFC/100 ml, el real decreto 849/86 no establece una permisibilidad para este factor, mientras que la norma ecuatoriana determina que prácticamente el total de coliformes debe ser removido.

**Gráfica 60. Variación Coliformes totales**



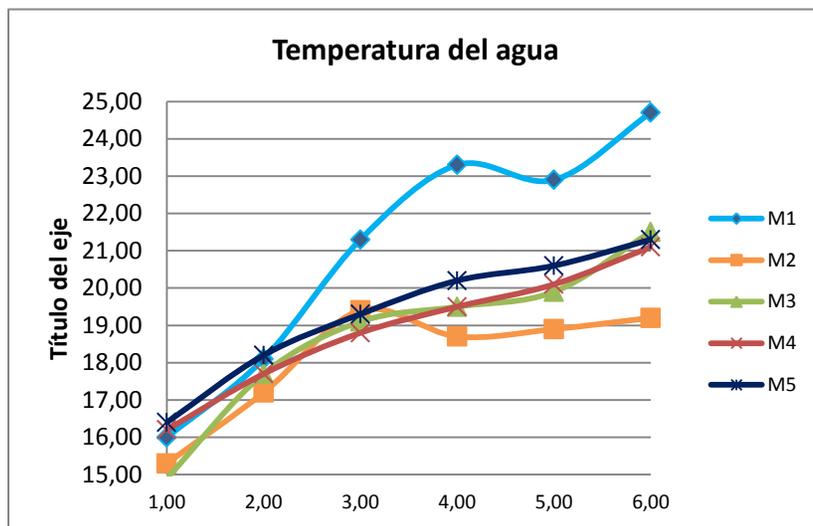
Fuente: Autora

**Rango permisible: UFC/100 ml**

ECUADOR	UNIÓN EUROPEA
Remoción > 99.9%	-

Los valores varían entre (290,0 y 800000,0) UFC/100 ml, con una tendencia de concentraciones altas, el real decreto 849/86 de la unión europea no establece un límite para este parámetro.

**Gráfica 61. Variación Temperatura del agua**



Fuente: Autora

**Rango permisible: °C**

ECUADOR	UNIÓN EUROPEA
< 35	3,0

Los valores varían entre (14,9 y 24,7) °C, observando un aumento a lo largo del río, influyendo en el pH y en la conductividad eléctrica, repercutiendo en el efecto de los agentes contaminantes. Cumple con el límite permitido por la norma ecuatoriana y sobrepasa el límite permitido por el real decreto 849/86.

Del análisis realizado se puede concluir que existe problema de contaminación de las descargas al cauce del río Yacuambi, del tramo en estudio, por exceso de sólidos totales lo cual afecta la turbidez y el color del agua por el total de materia orgánica presente, aumentando directamente los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), además se evidencian los altos contenidos de coliformes tanto fecales como totales, residuo de las descargas de agua residual vertida al cauce.

### 3.9. Cálculo del índice de calidad de agua del río Yacuambi por el método de Brown (ICG)

#### 3.9.1. Cálculo del ICG por muestreo y por punto de muestreo

En la Tabla 19 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del primer muestreo.

Tabla 19. Resultados del ICG del primer muestreo

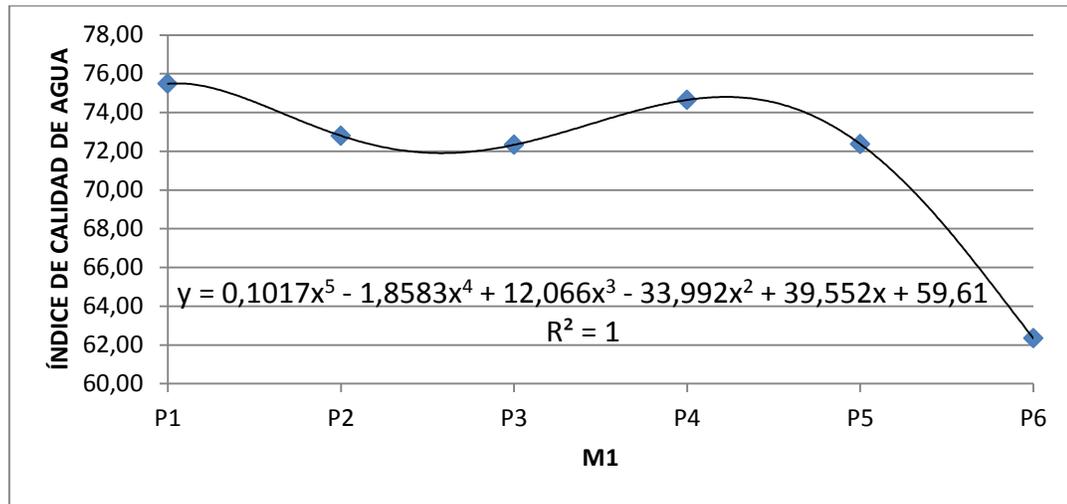
PRIMER MUESTREO (M1)													
Parámetro	W <sub>i</sub>	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
		Sub <sub>i 1</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 1</sub>	Sub <sub>i 2</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 2</sub>	Sub <sub>i 3</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 3</sub>	Sub <sub>i 4</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 4</sub>	Sub <sub>i 5</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 5</sub>	Sub <sub>i 6</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 6</sub>
Oxígeno Disuelto	0,17	95,00	16,15	95,05	16,16	94,00	15,98	92,30	15,69	93,00	15,81	91,80	15,61
Coliformes fecales	0,16	62,00	9,92	60,00	9,60	58,00	9,28	54,00	8,64	51,90	8,30	25,00	4,00
pH	0,11	75,50	8,31	90,00	9,90	90,80	9,99	93,00	10,23	92,00	10,12	91,00	10,01
DBO	0,11	54,00	5,94	42,50	4,68	32,00	3,52	50,50	5,56	36,00	3,96	23,00	2,53
Δ Temperatura	0,10	30,00	3,00	9,00	0,90	20,00	2,00	24,00	2,40	19,00	1,90	22,50	2,25
Fosfato total	0,10	89,30	8,93	89,50	8,95	89,50	8,95	89,50	8,95	89,30	8,93	76,00	7,60
Nitratos	0,10	97,60	9,76	93,00	9,30	90,00	9,00	95,60	9,56	97,20	9,72	91,90	9,19
Turbiedad	0,08	95,00	7,60	92,00	7,36	94,90	7,59	94,50	7,56	94,60	7,57	64,00	5,12
Sólidos Totales	0,07	83,90	5,87	85,00	5,95	86,00	6,02	86,50	6,06	86,50	6,06	86,20	6,03
<b>ICG=</b>		75,48		72,80		72,33		74,65		72,37		62,34	

Fuente: Autora

Nota: Los valores de W<sub>i</sub> y Sub<sub>i</sub> son adimensionales

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Regular
Malo
Pésimo

**Gráfica 62. ICG del río Yacuambi del primer muestreo**



**Fuente: Autora**

De acuerdo a los rangos de clasificación de Brown, presentados en la Tabla 2, los puntos de muestreo del 1 al 6 (tramo comprendido desde Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el Zamora en el sector La Saquea) se encuentran en el rango de 62 a 75 con un índice de calidad de agua para el río de 73 (gráfica 62), indicando un estado “ACEPTABLE o BUENA” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento estaría en una clasificación aceptable para cualquier deporte y para cualquier tipo de vida acuática pero con necesidad de tratamiento para abastecimiento al público debido a su alto contenido de coliformes.

El punto 6, presenta una disminución de calidad de agua, clasificándose como regular o poco contaminada, esto se debe a los contaminantes vertidos a lo largo del río Zamora.

En la Tabla 20 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del segundo muestreo.

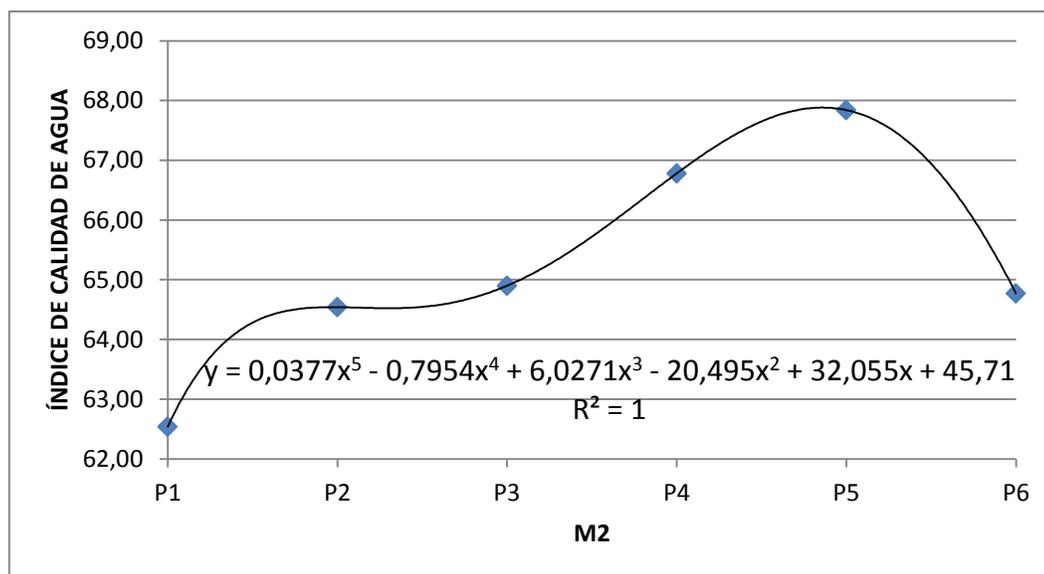
Tabla 20. Resultados del ICG del segundo muestreo

SEGUNDO MUESTREO (M2)													
Parámetro	Wi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
		Subi <sub>1</sub>	Wi*Subi <sub>1</sub>	Subi <sub>2</sub>	Wi*Subi <sub>2</sub>	Subi <sub>3</sub>	Wi*Subi <sub>3</sub>	Subi <sub>4</sub>	Wi*Subi <sub>4</sub>	Subi <sub>5</sub>	Wi*Subi <sub>5</sub>	Subi <sub>6</sub>	Wi*Subi <sub>6</sub>
Oxígeno Disuelto	0,17	95,25	16,19	95,45	16,23	94,80	16,12	95,02	16,15	95,10	16,17	96,25	16,36
Coliformes fecales	0,16	41,95	6,71	44,00	7,04	47,00	7,52	43,90	7,02	42,00	6,72	38,50	6,16
pH	0,11	55,00	6,05	68,00	7,48	87,50	9,63	81,00	8,91	88,00	9,68	91,00	10,01
DBO	0,11	6,60	0,73	18,00	1,98	2,00	0,22	6,80	0,75	10,20	1,12	10,20	1,12
Δ Temperatura	0,10	25,60	2,56	21,00	2,10	25,20	2,52	34,90	3,49	31,80	3,18	30,00	3,00
Fosfato total	0,10	89,90	8,99	88,50	8,85	65,00	6,50	83,00	8,30	81,80	8,18	80,05	8,01
Nitratos	0,10	89,90	8,99	91,90	9,19	92,10	9,21	94,50	9,45	95,40	9,54	86,00	8,60
Turbiedad	0,08	84,00	6,72	71,90	5,75	89,00	7,12	84,50	6,76	89,50	7,16	68,00	5,44
Sólidos Totales	0,07	80,00	5,60	84,50	5,92	86,50	6,06	85,00	5,95	87,00	6,09	86,75	6,07
<b>ICG=</b>		62,54		64,54		64,90		66,78		67,84		64,77	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Regular
Malo
Pésimo

**Gráfica 63. ICG del río Yacuambi del segundo muestreo.**



**Fuente: Autora**

De acuerdo a los rangos de clasificación de Brown presentados en la Tabla 2, los puntos de muestreo del 1 al 6 (tramo comprendido desde Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el Zamora en el sector La Saquea) se encuentran en el rango de 62 a 67, con un índice de calidad de agua para el río de 65 (gráfica 63), indicando un estado “POCO CONTAMINADO o REGULAR” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento estaría en una clasificación aceptable pero no recomendable para su uso en actividades de recreación, para pesca y vida acuática aceptable excepto para especies sensibles y con mayor necesidad de tratamiento para abastecimiento al público.

En la Tabla 21 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del tercer muestreo.

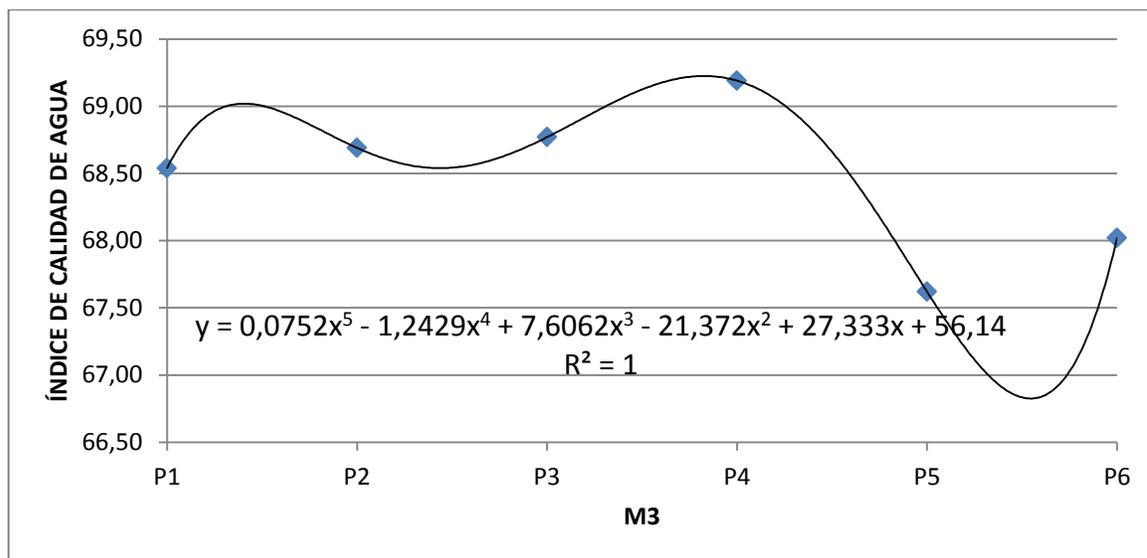
Tabla 21. Resultados de ICG del tercer muestreo

TERCER MUESTREO (M3)													
Parámetro	Wi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
		Sub <sub>i 1</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 1</sub>	Sub <sub>i 2</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 2</sub>	Sub <sub>i 3</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 3</sub>	Sub <sub>i 4</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 4</sub>	Sub <sub>i 5</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 5</sub>	Sub <sub>i 6</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 6</sub>
Oxígeno Disuelto	0,17	99,00	16,83	95,90	16,30	95,55	16,24	95,20	16,18	95,70	16,27	95,35	16,21
Coliformes fecales	0,16	61,90	9,90	58,00	9,28	53,90	8,62	56,90	9,10	47,50	7,60	45,90	7,34
pH	0,11	55,30	6,08	90,50	9,96	92,20	10,14	91,80	10,10	80,95	8,90	81,90	9,01
DBO	0,11	26,00	2,86	12,00	1,32	7,90	0,87	14,00	1,54	12,00	1,32	8,00	0,88
Δ Temperatura	0,10	9,00	0,90	9,00	0,90	12,90	1,29	11,00	1,10	22,00	2,20	35,00	3,50
Fosfato total	0,10	89,30	8,93	84,00	8,40	88,50	8,85	85,00	8,50	85,00	8,50	88,50	8,85
Nitratos	0,10	97,80	9,78	90,00	9,00	93,50	9,35	93,00	9,30	95,50	9,55	89,20	8,92
Turbiedad	0,08	93,80	7,50	93,95	7,52	93,20	7,46	93,80	7,50	92,90	7,43	92,90	7,43
Sólidos Totales	0,07	82,25	5,76	85,90	6,01	85,00	5,95	83,90	5,87	83,50	5,85	84,00	5,88
<b>ICG=</b>		<b>68,54</b>		<b>68,69</b>		<b>68,77</b>		<b>69,19</b>		<b>67,62</b>		<b>68,02</b>	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Regular
Malo
Pésimo

Gráfica 64. ICG del río Yacuambi del tercer muestreo.



Fuente: Autora

De acuerdo a los rangos de clasificación de Brown presentados en la Tabla 2, los puntos de muestreo del 1 al 6 (tramo comprendido desde Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el Zamora en el sector La Saquea) se encuentran en el rango de 67 a 69, con un índice de calidad de agua para el río de 69 (gráfica 64), indicando un estado “POCO CONTAMINADO o REGULAR” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento estaría en una clasificación aceptable para consumo humano con necesidad de purificación, puede encontrarse la presencia de algas y la disminución de la vida acuática o la presencia de organismos no sensibles.

En la Tabla 22 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del cuarto muestreo.

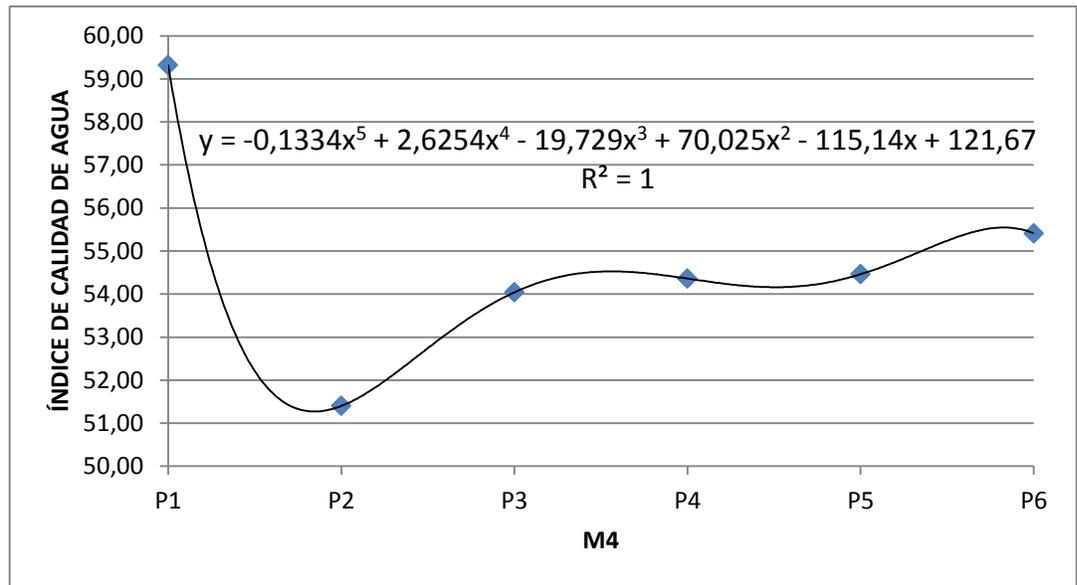
Tabla 22. Resultados de ICG del cuarto muestreo

CUARTO MUESTREO (M4)													
Parámetro	Wi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
		Sub <sub>i 1</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 1</sub>	Sub <sub>i 2</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 2</sub>	Sub <sub>i 3</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 3</sub>	Sub <sub>i 4</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 4</sub>	Sub <sub>i 5</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 5</sub>	Sub <sub>i 6</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 6</sub>
Oxígeno Disuelto	0,17	91,20	15,50	91,60	15,57	92,90	15,79	96,50	16,41	92,00	15,64	93,10	15,83
Coliformes fecales	0,16	26,40	4,22	23,80	3,81	24,20	3,87	18,00	2,88	12,90	2,06	12,00	1,92
pH	0,11	55,20	6,07	62,20	6,84	68,00	7,48	68,20	7,50	62,00	6,82	89,90	9,89
DBO	0,11	2,00	0,22	2,00	0,22	2,00	0,22	2,00	0,22	2,00	0,22	2,00	0,22
Δ Temperatura	0,10	29,00	2,90	9,00	0,90	18,00	1,80	19,00	1,90	17,80	1,78	19,50	1,95
Fosfato total	0,10	89,50	8,95	89,50	8,95	89,75	8,98	89,75	8,98	89,30	8,93	92,00	9,20
Nitratos	0,10	89,00	8,90	79,50	7,95	83,50	8,35	89,80	8,98	79,90	7,99	83,80	8,38
Turbiedad	0,08	81,80	6,54	43,60	3,49	50,80	4,06	55,20	4,42	82,75	6,62	59,00	4,72
Sólidos Totales	0,07	86,00	6,02	52,40	3,67	49,90	3,49	43,90	3,07	62,90	4,40	47,20	3,30
<b>ICG=</b>		59,32		51,40		54,04		54,36		54,46		55,41	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Regular
Malo
Pésimo

Gráfica 65. ICG del río Yacuambi del cuarto muestreo.



Fuente: Autora

De acuerdo a los rangos de clasificación de Brown presentados en la Tabla 2, los puntos de muestreo del 1 al 6 (tramo comprendido desde Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el Zamora en el sector La Saquea) se encuentran en el rango de 51 a 59, con un índice de calidad de agua para el río de 54 (gráfica 65), indicando un estado “POCO CONTAMINADO o REGULAR” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento estaría en una clasificación aceptable pero no recomendable para actividades de recreación, indicando el ingreso de vertidos de agua residual lo que disminuye significativamente la calidad del agua, disminuyendo la vida acuática y creando un problema al requerir un mejor tratamiento del agua para abastecimiento al público.

En la Tabla 23 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del quinto muestreo.

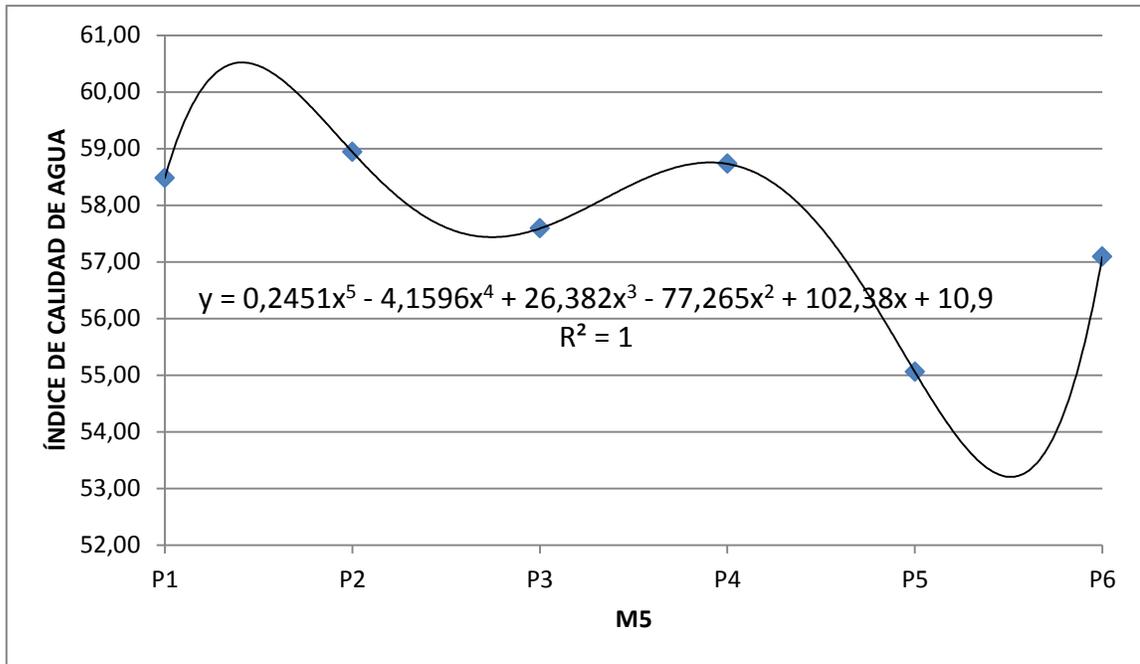
Tabla 23. Resultados de ICG del quinto muestreo

QUINTO MUESTREO (M5)													
Parámetro	Wi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
		Sub <sub>i 1</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 1</sub>	Sub <sub>i 2</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 2</sub>	Sub <sub>i 3</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 3</sub>	Sub <sub>i 4</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 4</sub>	Sub <sub>i 5</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 5</sub>	Sub <sub>i 6</sub>	W <sub>i</sub> *Sub <sub>i 6</sub>
Oxígeno Disuelto	0,17	93,80	15,95	95,00	16,15	95,20	16,18	95,50	16,24	95,68	16,27	95,80	16,29
Coliformes fecales	0,16	3,00	0,48	3,00	0,48	3,00	0,48	18,00	2,88	3,00	0,48	33,40	5,34
pH	0,11	35,80	3,94	43,80	4,82	55,20	6,07	59,20	6,51	56,20	6,18	59,40	6,53
DBO	0,11	45,60	5,02	50,50	5,56	42,90	4,72	41,50	4,57	38,40	4,22	26,00	2,86
Δ Temperatura	0,10	21,90	2,19	23,90	2,39	13,00	1,30	9,00	0,90	13,00	1,30	19,00	1,90
Fosfato total	0,10	82,50	8,25	81,80	8,18	76,50	7,65	75,80	7,58	75,00	7,50	67,00	6,70
Nitratos	0,10	94,50	9,45	92,10	9,21	90,00	9,00	89,20	8,92	88,20	8,82	80,20	8,02
Turbiedad	0,08	89,30	7,14	76,10	6,09	76,40	6,11	64,00	5,12	53,80	4,30	43,20	3,46
Sólidos Totales	0,07	86,50	6,06	86,60	6,06	86,80	6,08	85,80	6,01	85,50	5,99	85,60	5,99
<b>ICG=</b>		58,48		58,94		57,59		58,73		55,06		57,09	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Regular
Malo
Pésimo

Gráfica 66. ICG del río Yacuambi del quinto muestreo.



Fuente: Autora

De acuerdo a los rangos de clasificación de Brown presentados en la Tabla 2, los puntos de muestreo del 1 al 6 (tramo comprendido desde Tutupali hasta la intersección del río Yacuambi con el Zamora en el sector La Saquea) se encuentran en el rango de 55 a 59, con un índice de calidad de agua para el río de 58 (gráfica 66), indicando un estado “**POCO CONTAMINADO o REGULAR**” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que existe una disminución de vida acuática dando paso solamente a especies no sensibles, que puede deberse al ingreso de sustancias contaminantes que no pueden diluirse fácilmente durante el río.

De acuerdo a los cinco muestreos realizados tanto en invierno como en verano y con los índices de calidad de agua por muestreo analizados mediante el método de Brown (ICG) se determina el índice de calidad de agua del río Yacuambi, (Tabla 24).

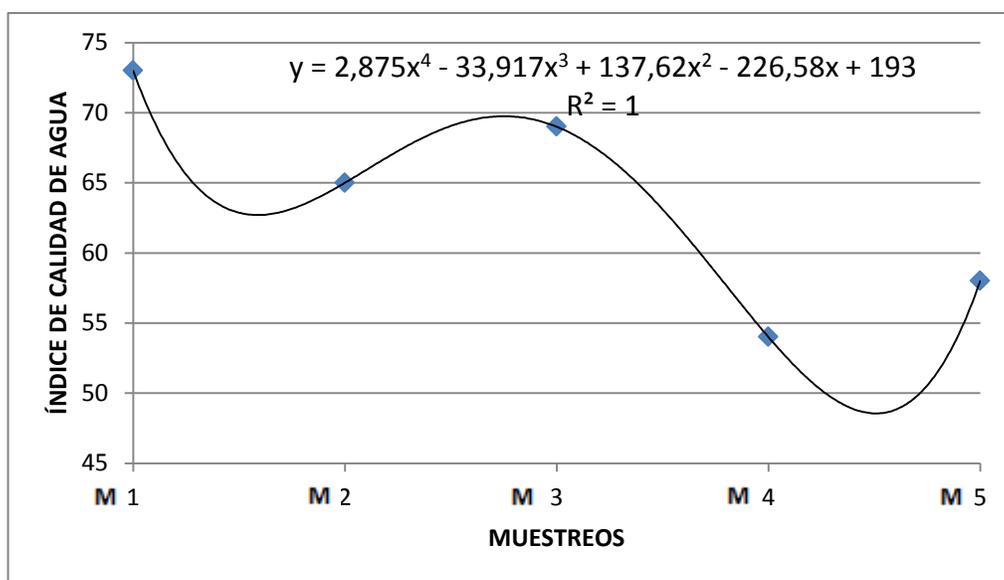
**Tabla 24. Resultados del ICG por muestreo**

MUESTREO	ICG
M1	73
M2	65
M3	69
M4	54
M5	58

Fuente: Autora

De cada muestreo ( $M_i$ ) realizado se obtiene un índice de calidad de agua para el río (ICG), los cuales al ser analizados conjuntamente proporcionan un valor más representativo del índice de calidad de agua para el río Yacuambi por el método de Brown.

**Gráfica 67. ICG del río Yacuambi**



Fuente: Autora

De la gráfica 67 se obtiene un valor del índice de calidad de agua de 63, que de acuerdo a la Tabla 2 se encuentra en el rango de 50-69, determinando que el agua de la subcuenca Yacuambi es **“POCO CONTAMINADA o REGULAR”**, es decir, existe una disminución de la vida acuática debido a la contaminación existente por lo que necesita un mayor tratamiento para su purificación y potabilización.

### 3.9.2. Cálculo del ICG por parámetro

#### 3.9.2.1. Cálculo del ICG en función de coliformes fecales

En la Tabla 25 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de coliformes fecales.

Tabla 25. Resultado del cálculo del ICG en función de coliformes fecales

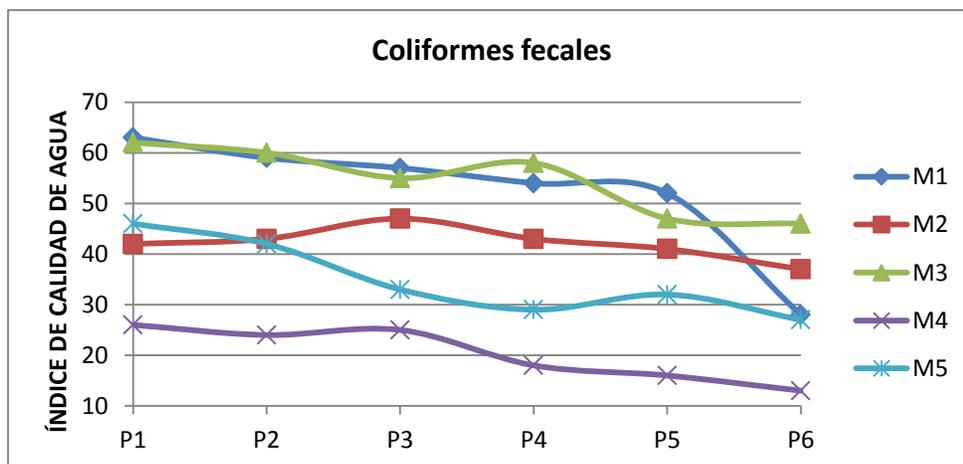
Coliformes fecales	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	63	59	57	54	52	28
M2	42	43	47	43	41	37
M3	62	60	55	58	47	46
M4	26	24	25	18	16	13
M5	46	42	33	29	32	27

Fuente: Autora



La lectura del índice de calidad de agua se realizó en función de la concentración obtenida en laboratorio y de la gráfica 13, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 68. Variación del ICG en función de coliformes fecales



Fuente: Autora

Los valores ICG varían entre 13 y 63 en los diferentes muestreos, con una tendencia de disminución a lo largo del río, siendo los más críticos los valores del muestreo 4, que de acuerdo a los rangos de clasificación de Brown en la Tabla 2, clasifican el agua como “PÉSIMA o ALTAMENTE CONTAMINADA”, en general el agua en función de coliformes fecales sería 41, clasificándose como “MALA O CONTAMINADA”, indicando la necesidad de una purificación antes de su consumo final, y que de acuerdo a la Tabla 3, es dudosa para el contacto directo en actividades de recreación, dando paso a la vida acuática únicamente de organismos resistentes y necesitando de un tratamiento adecuado para las diferentes actividades industriales y agrícolas.

### 3.9.2.2. Cálculo del ICG en función de los sólidos totales

En la Tabla 26 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de pH.

**Tabla 26. Resultado del cálculo del ICG en función de los sólidos totales**

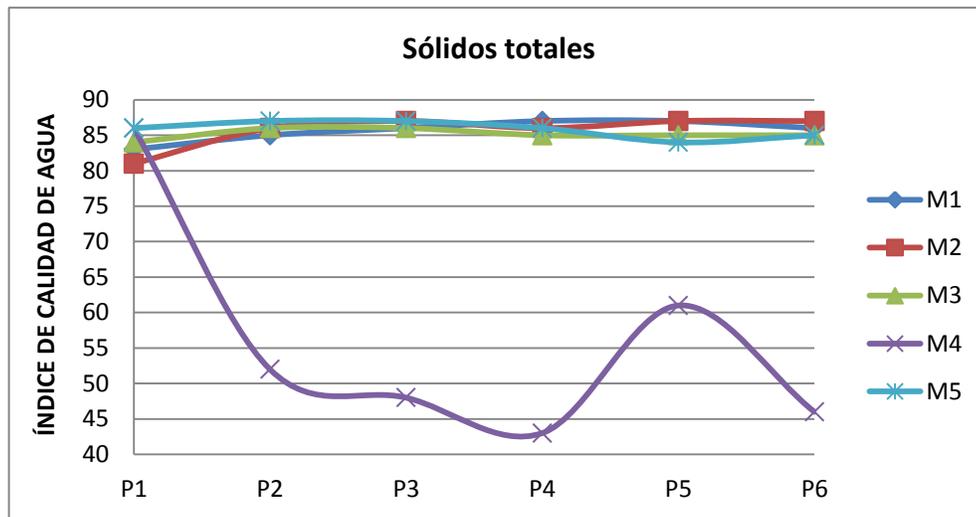
Sólidos totales	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	83	85	86	87	87	86
M2	81	86	87	86	87	87
M3	84	86	86	85	85	85
M4	86	52	48	43	61	46
M5	86	87	87	86	84	85

Fuente: Autora

Excelente	Buena	Regular	Mala	Pésimo
-----------	-------	---------	------	--------

El índice de calidad de agua en función de los sólidos totales se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 14, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

**Gráfica 69. Variación del ICG en función de los sólidos totales**



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para sólidos totales según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 43 y 87 (gráfica 69), teniendo un ICG promedio de 80, que de acuerdo a la Tabla 2, clasifica el agua como “BUENA O ACEPTABLE” y que de acuerdo a la escala clasificación del índice de calidad de agua para distintos usos, se determina que el agua estaría libre de purificación, aceptable para cualquier deporte acuático o actividad de recreación, dando posibilidades de desarrollo de cualquier organismo o vida acuática y necesitando una ligera purificación para algunos procesos agrícolas e industriales.

### **3.9.2.3. Cálculo del ICG en función del % de saturación**

En la Tabla 27 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función del % de saturación encontrado en el agua.

Tabla 27. Resultado del cálculo del ICG en función del % de saturación

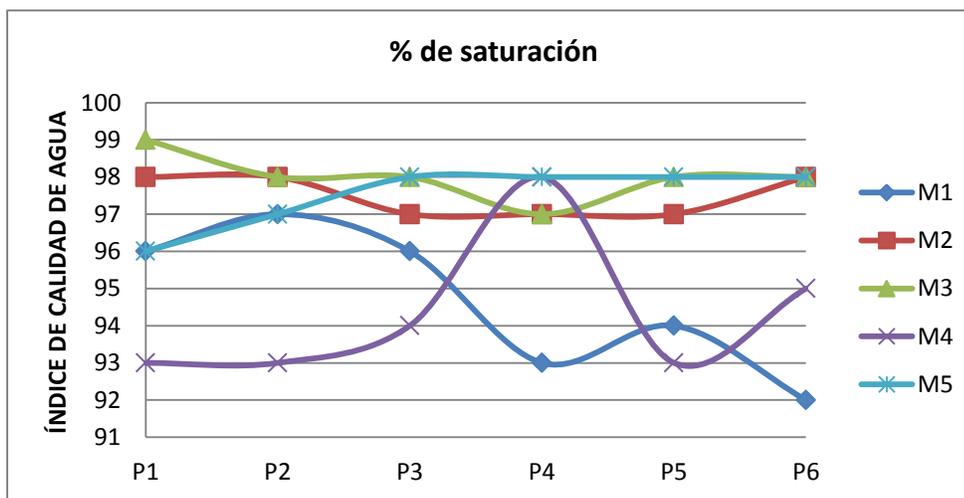
% de saturación	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	96	97	96	93	94	92
M2	98	98	97	97	97	98
M3	99	98	98	97	98	98
M4	93	93	94	98	93	95
M5	96	97	98	98	98	98

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función del % de saturación se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 15, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 70. Variación del ICG en función del % de saturación



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para el % de saturación según análisis de los diferentes muestreos, varían entre 92 y 99 (gráfica 70), teniendo un ICG promedio de 96, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización para distintos usos, clasifica el agua como “NO CONTAMINADO o EXCELENTE”, determinando que las condiciones para todo tipo de uso debido al % de saturación es completamente aceptable.

### 3.9.2.4. Cálculo del ICG en función del cambio de temperatura

En la Tabla 28 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función del cambio de temperatura (ambiente, agua).

Tabla 28. Resultado del cálculo del ICG en función del cambio de temperatura

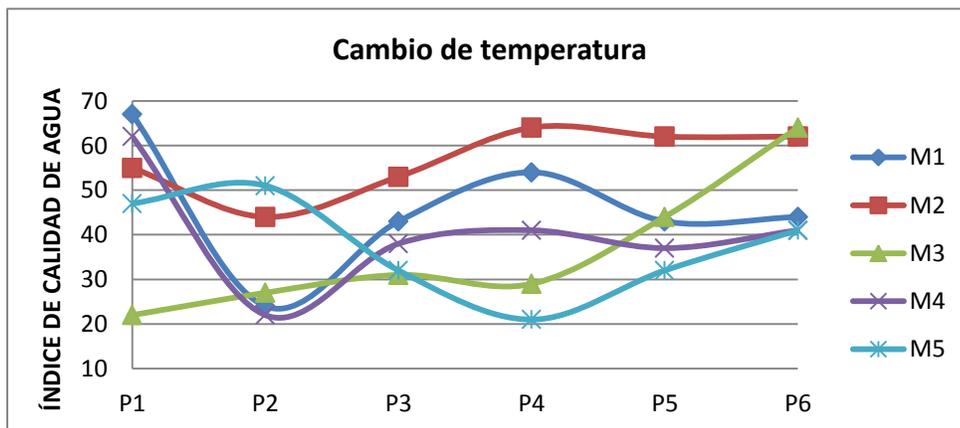
$\Delta$ de temperatura	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	67	24	43	54	43	44
M2	55	44	53	64	62	62
M3	22	27	31	29	44	64
M4	62	22	38	41	37	41
M5	47	51	32	21	32	41

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función del cambio de temperatura se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 16, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 71. Variación del ICG en función del cambio de temperatura



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para el cambio de temperatura según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 21 y 67 (gráfica 71), teniendo un ICG promedio de 43, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización, clasifica el agua como “CONTAMINADA o MALA”, observando la existencia de contaminación el

agua del río Yacuambi sería dudosa para actividades de recreación, necesitaría tratamiento en la mayor parte de la industria y la vida acuática no sería fácil de desarrollarse debido a las condiciones existentes donde solo los organismos resistentes podrían subsistir.

### 3.9.2.5. Cálculo del ICG en función de la turbidez

En la Tabla 29 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de la turbidez del agua, parámetro que depende de los sólidos contenidos en el agua.

**Tabla 29. Resultado del cálculo del ICG en función de la turbidez**

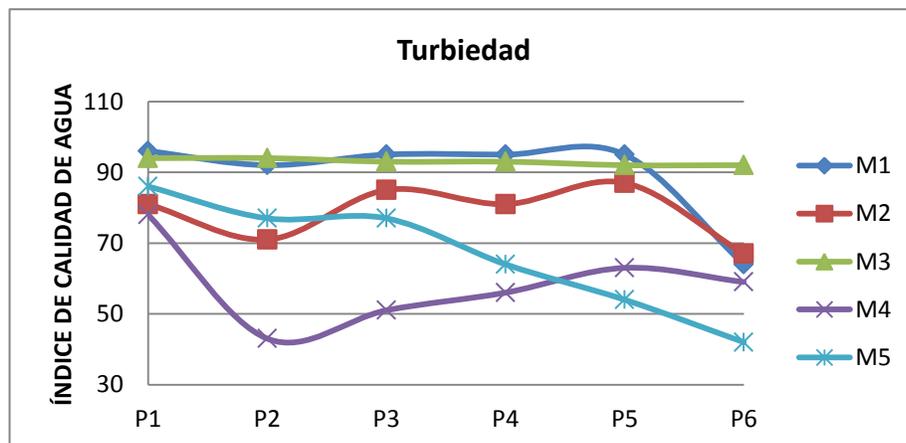
Turbiedad	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	96	92	95	95	95	64
M2	81	71	85	81	87	67
M3	94	94	93	93	92	92
M4	78	43	51	56	63	59
M5	86	77	77	64	54	42

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función de la turbidez se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 17, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

**Gráfica 72. Variación del ICG en función de la turbidez**



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para la turbiedad según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 42 y 96 (gráfica 72), teniendo un ICG promedio de 77, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización para distintos usos, clasifica el agua como “BUENA o ACEPTABLE”, el agua del río de acuerdo a este parámetro es aceptable para cualquier actividad de recreación y para el desarrollo de la vida acuática.

### 3.9.2.6. Cálculo del ICG en función de la DBO<sub>5</sub>

En la Tabla 30 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de la demanda bioquímica de agua.

Tabla 30. Resultado del cálculo del ICG en función de la DBO<sub>5</sub>

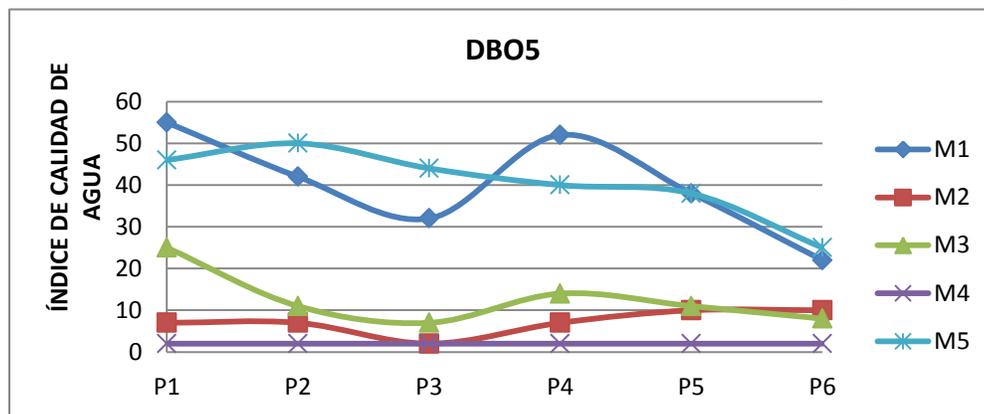
DBO <sub>5</sub>	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	55	42	32	52	38	22
M2	7	7	2	7	10	10
M3	25	11	7	14	11	8
M4	2	2	2	2	2	2
M5	46	50	44	40	38	25

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub> se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 18, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 73. Variación del ICG en función de la DBO<sub>5</sub>



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para la DBO<sub>5</sub> según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 2 y 55 (gráfica731), teniendo un ICG promedio de 21, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización, clasifica el agua como “PÉSIMA O ALTAMENTE CONTAMINADA”, existiendo un problema en el río por presencia de vertidos al cauce de aguas residuales.

### 3.9.2.7. Cálculo del ICG en función de nitratos

En la Tabla 31 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de nitratos.

Tabla 31. Resultado del cálculo del ICG en función de nitratos

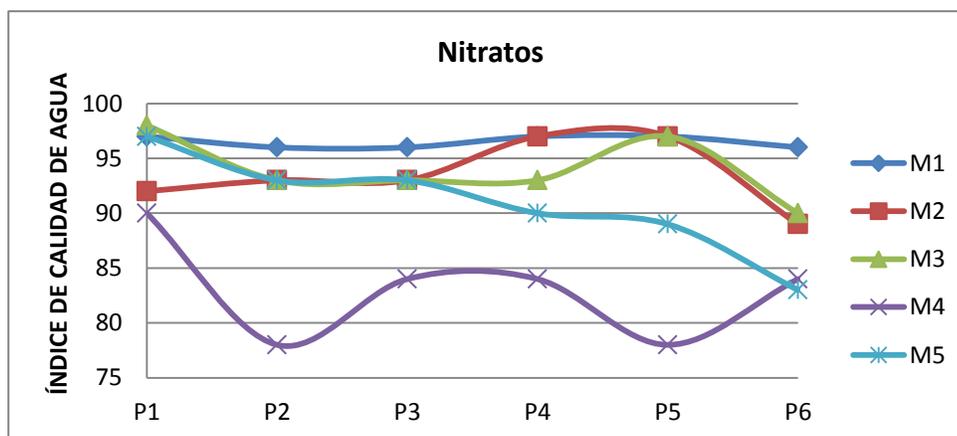
Nitratos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	97	96	96	97	97	96
M2	92	93	93	97	97	89
M3	98	93	93	93	97	90
M4	90	78	84	84	78	84
M5	97	93	93	90	89	83

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función de nitratos se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 19, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 74. Variación del ICG en función de nitratos



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para nitratos según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 78 y 98 (gráfica 74), con un ICG promedio de 92, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización, clasifica el agua como “NO CONTAMINADO o EXCELENTE”, pudiendo determinar que no existe contaminación por nitratos en el río, y siendo apta para todas las actividades requeridas.

### 3.9.2.8. Cálculo del ICG en función de pH

En la Tabla 32 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de nitratos.

**Tabla 32. Resultado del cálculo del ICG en función del pH**

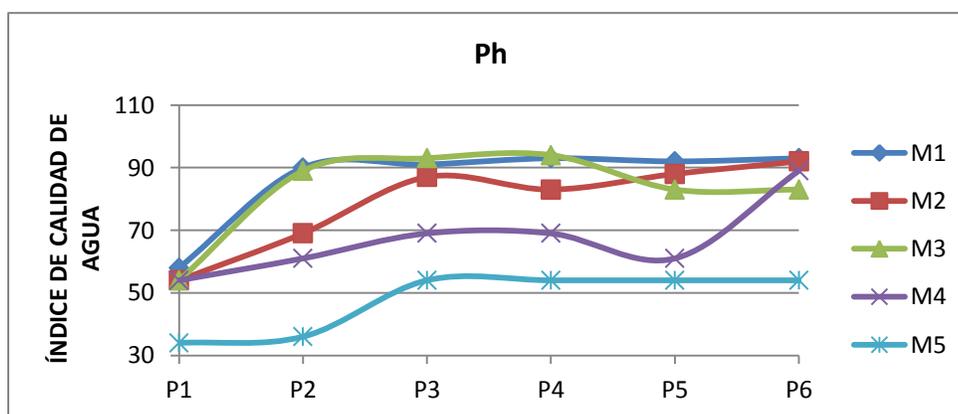
pH	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	58	90	91	93	92	93
M2	54	69	87	83	88	92
M3	54	89	93	94	83	83
M4	54	61	69	69	61	89
M5	34	36	54	54	54	54

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función del pH se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 20, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

**Gráfica 75. Variación del ICG en función del pH**



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para el pH según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 34 y 94 (gráfica 75), teniendo un ICG promedio de 73, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización, clasifica el agua como “BUENA o ACEPTABLE”, determinando así que no existen problemas de contaminación por pH en el río.

### 3.9.2.9. Cálculo del ICG en función de fosfatos

En la Tabla 33 se presentan los resultados del índice de calidad de agua (ICG) por muestreos en función de fosfatos.

Tabla 33. Resultado del cálculo del ICG en función de fosfatos

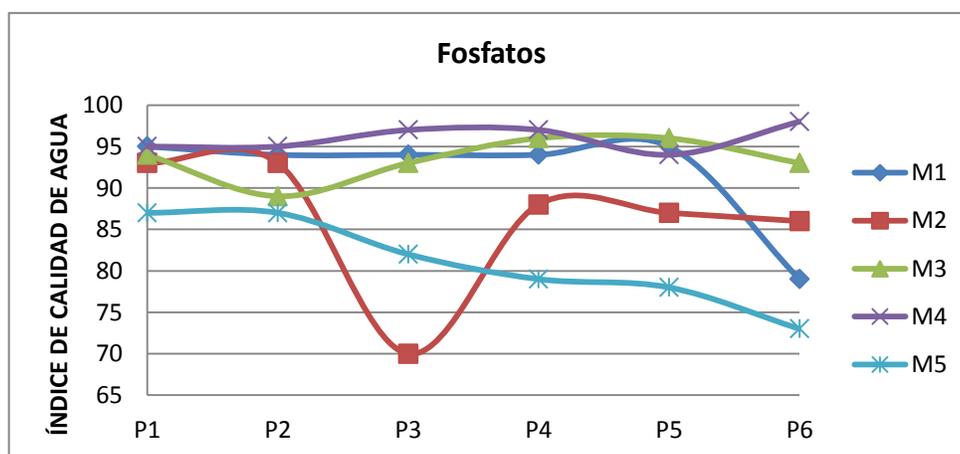
Fosfatos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	95	94	94	94	95	79
M2	93	93	70	88	87	86
M3	94	89	93	96	96	93
M4	95	95	97	97	94	98
M5	87	87	82	79	78	73

Fuente: Autora



El índice de calidad de agua en función de fosfatos se obtiene de las lecturas realizadas en la gráfica 21, clasificando los valores de acuerdo a los rangos de Brown.

Gráfica 76. Variación del ICG en función de fosfatos



Fuente: Autora

Los rangos del ICG para fosfatos según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 70 y 98 (gráfica 76), teniendo un ICG promedio de 90, que de acuerdo a la Tabla 2 de categorización, clasifica el agua como “BUENA o ACEPTABLE”, determinando así que no existen problemas de contaminación por fosfatos en el río.

### **3.10. Cálculo del Índice de calidad de agua por el método de Provencher y Lamontagne (ICA)**

En la Tabla 34 se presentan los resultados del índice de calidad (ICA) por puntos del primer muestreo.

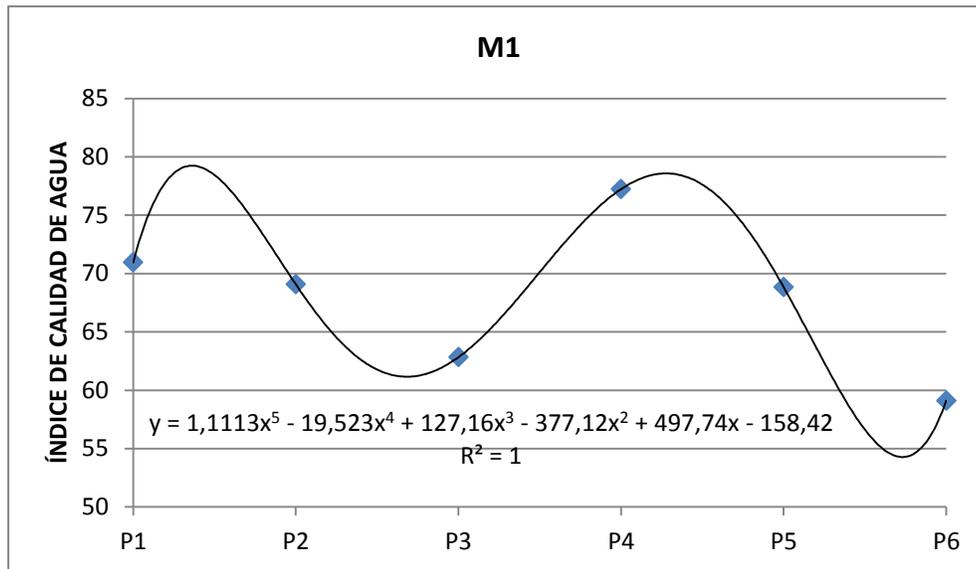
Tabla 34. Resultados del ICA del primer muestreo

PRIMER MUESTREO (M1)														
Parámetro	a	P <sub>i</sub>	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
			Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> x P <sub>i</sub>
Oxígeno Disuelto	2	0,057	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7
Sólidos Totales	4	0,029	100,0	2,9	97,8	2,8	96,0	2,8	95,1	2,8	95,1	2,8	81,8	2,4
pH	1	0,114	63,9	7,3	81,6	9,3	86,0	9,8	96,0	10,9	94,0	10,7	96,8	11,0
Conductividad E.	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
DQO	1	0,114	44,7	5,1	31,2	3,6	22,5	2,6	39,4	4,5	26,4	3,0	16,5	1,9
DBO5	1	0,114	50,0	5,7	36,4	4,1	27,4	3,1	44,7	5,1	31,4	3,6	21,0	2,4
Coliformes totales	1	0,114	40,9	4,7	36,1	4,1	33,6	3,8	27,0	3,1	21,1	2,4	0,0	0,0
Cloruros	4	0,029	99,3	2,9	99,2	2,9	99,3	2,9	99,1	2,9	99,4	2,9	99,3	2,9
Sulfatos	4	0,029	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9
Fosfatos	4	0,029	95,7	2,8	96,0	2,8	96,0	2,8	96,0	2,8	95,7	2,8	89,3	2,6
Magnesio	4	0,029	99,9	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9	99,8	2,9	100,0	2,9	99,7	2,9
Nitrato	3	0,038	99,9	3,8	99,6	3,8	99,4	3,8	99,8	3,8	99,8	3,8	99,5	3,8
Cianuros	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	90,0	3,4
Cadmio	1	0,114	49,0	5,6	49,0	5,6	10,0	1,1	100,0	11,4	60,0	6,8	20,0	2,3
Cromo	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Mercurio	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Plomo	3	0,038	94,0	3,6	89,5	3,4	91,0	3,5	87,0	3,3	89,0	3,4	94,5	3,6
<b>ICA=</b>			<b>70,9</b>		<b>69,1</b>		<b>62,8</b>		<b>77,2</b>		<b>68,8</b>		<b>59,1</b>	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Intermedia
Admisible
Inadmisible

Gráfica 77. ICA del río del primer muestreo



Fuente: Autora

Se determina que el valor del índice de calidad de agua para el río en el primer muestreo es de 70 (gráfica 77), que de acuerdo a la Tabla 6 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 70 -60, lo cual significa que la calidad del agua es “ADMISIBLE” para el río Yacuambi, y que según la Tabla 3, es aceptable para su uso en actividades de recreación, con una mayor necesidad de tratamiento para abastecimiento al público y con un una ligera purificación para algunos procesos agrícolas o industriales.

El índice de calidad de agua es más crítico en el sexto punto, correspondiente a la unión del río Zamora con el Yacuambi, valor que se debe a la incorporación de nuevos contaminantes que son arrastrados por el río Zamora, el color rojo corresponde a un estado inadmisibles del agua, el color naranja a un estado admisible y el color amarillo a un estado intermedio, de acuerdo a la Tabla 6, rangos de clasificación ICA.

En la Tabla 35 se presentan los resultados del índice de calidad (ICA) por puntos del segundo muestreo.

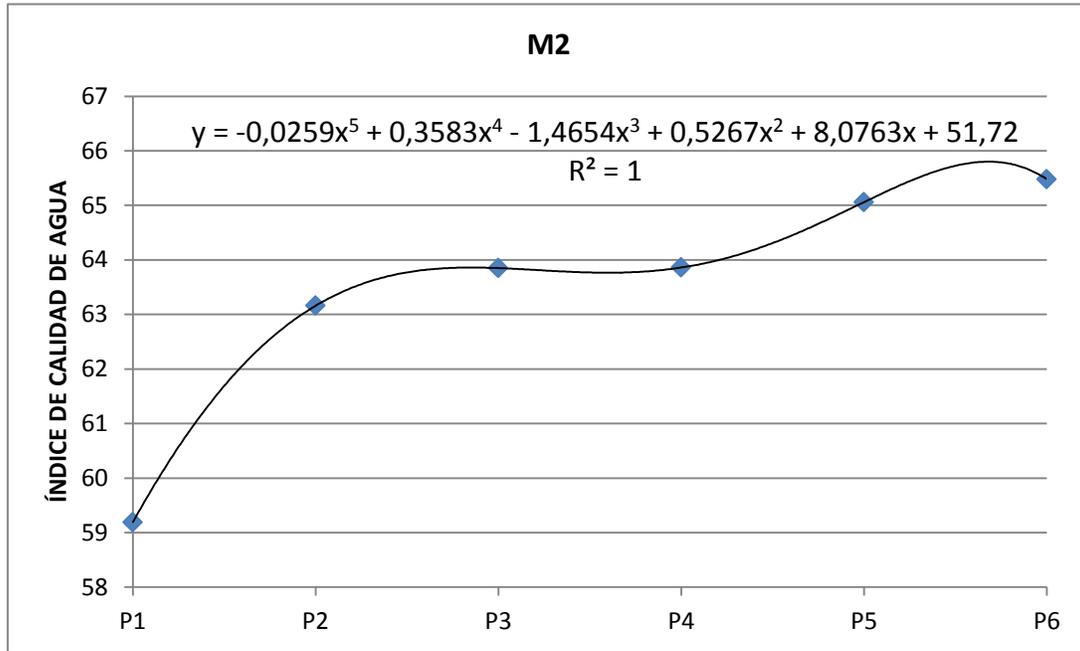
Tabla 35. Resultados del ICA del segundo muestreo

SEGUNDO MUESTREO (M2)														
Parámetro	a	Pi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
			Qi	Qi x Pi										
Oxígeno Disuelto	2	0,057	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7
Sólidos Totales	4	0,029	100,0	2,9	100,0	2,9	84,4	2,4	96,9	2,8	93,3	2,7	83,6	2,4
pH	1	0,114	45,0	5,1	58,2	6,6	72,9	8,3	67,8	7,7	74,1	8,4	86,8	9,9
Conductividad E.	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
DQO	1	0,114	2,7	0,3	3,9	0,4	0,6	0,1	3,2	0,4	6,9	0,8	6,9	0,8
DBO5	1	0,114	5,8	0,7	7,1	0,8	3,5	0,4	6,4	0,7	10,5	1,2	10,5	1,2
Coliformes totales	1	0,114	8,9	1,0	11,0	1,3	16,0	1,8	9,9	1,1	6,3	0,7	1,2	0,1
Cloruros	4	0,029	99,8	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9
Sulfatos	4	0,029	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9
Fosfatos	4	0,029	95,5	2,8	94,9	2,8	83,5	2,4	92,8	2,7	92,3	2,7	91,5	2,7
Magnesio	4	0,029	99,7	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9
Nitrato	3	0,038	99,4	3,8	99,5	3,8	99,6	3,8	99,7	3,8	99,8	3,8	99,0	3,8
Cianuros	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Cadmio	1	0,114	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4
Cromo	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Mercurio	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Plomo	3	0,038	43,5	1,7	94,5	3,6	95,0	3,6	95,0	3,6	99,0	3,8	96,0	3,6
<b>ICA=</b>			<b>59,2</b>		<b>63,2</b>		<b>63,9</b>		<b>63,9</b>		<b>65,1</b>		<b>65,5</b>	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Intermedia
Admisible
Inadmisible

Gráfica 78. ICA del río Yacuambi del segundo muestreo



Fuente: Autora

Se determina que el valor del índice de calidad de agua para el río en el segundo muestreo es de 64 (gráfica 78), que de acuerdo a la Tabla 6 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 70 - 60, lo cual significa que la calidad del agua es “**ADMISIBLE**” para el río Yacuambi, siendo aceptable pero no recomendable en actividades de recreación y con necesidad de tratamiento para desinfección.

El índice de calidad de agua es más crítico en el primer punto, correspondiente al puente de Tutupali, valor que se debe a los vertidos que aportan plomo y DQO al agua, el color rojo corresponde a un estado inadmisibles del agua y el color naranja a un estado admisible de acuerdo a la Tabla 6, rangos de clasificación ICA.

En la Tabla 36 se presentan los resultados del índice de calidad (ICA) por puntos del tercer muestreo.

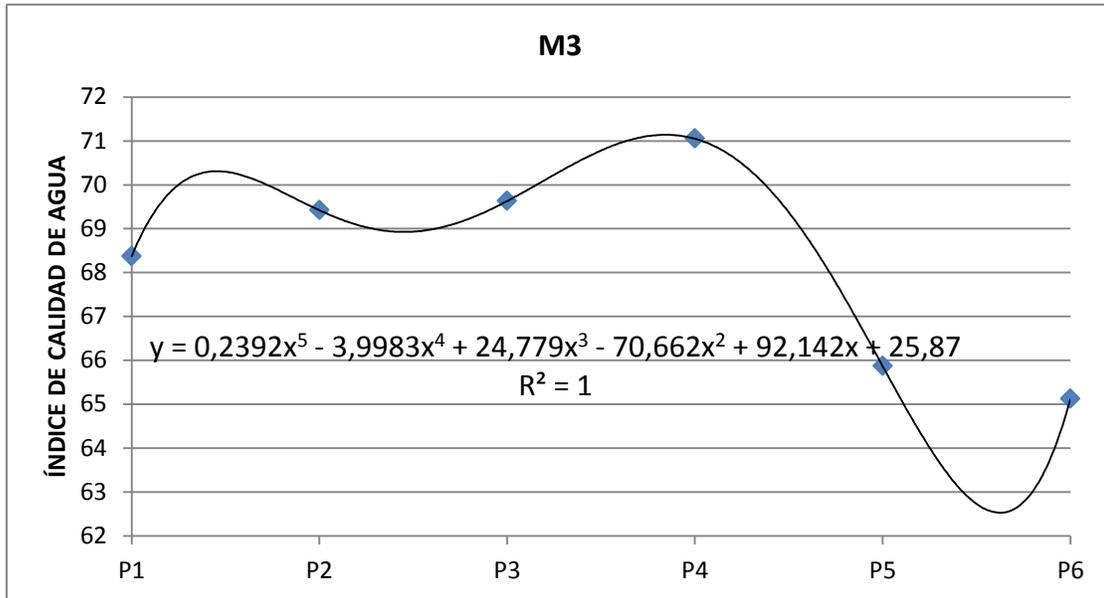
Tabla 36. Resultados del ICA del tercer muestreo

TERCER MUESTREO (M3)														
Parámetro	a	Pi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
			Qi	Qi x Pi										
Oxígeno Disuelto	2	0,057	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7
Sólidos Totales	4	0,029	100,0	2,9	97,3	2,8	98,7	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9
pH	1	0,114	46,8	5,3	83,2	9,5	99,2	11,3	92,4	10,5	67,5	7,7	68,7	7,8
Conductividad E.	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
DQO	1	0,114	18,3	2,1	7,7	0,9	3,9	0,4	10,9	1,2	7,7	0,9	5,3	0,6
DBO5	1	0,114	22,9	2,6	11,5	1,3	7,1	0,8	14,9	1,7	11,5	1,3	8,7	1,0
Coliformes totales	1	0,114	38,1	4,3	33,2	3,8	26,5	3,0	31,0	3,5	16,6	1,9	14,6	1,7
Cloruros	4	0,029	98,8	2,9	99,1	2,9	99,7	2,9	99,5	2,9	99,4	2,9	99,0	2,9
Sulfatos	4	0,029	99,9	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9
Fosfatos	4	0,029	95,7	2,8	94,1	2,7	94,9	2,8	95,2	2,8	95,2	2,8	94,9	2,8
Magnesio	4	0,029	100,0	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9	99,7	2,9	99,6	2,9	99,6	2,9
Nitrato	3	0,038	99,9	3,8	99,4	3,8	99,6	3,8	99,6	3,8	99,8	3,8	99,3	3,8
Cianuros	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Cadmio	1	0,114	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4
Cromo	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Mercurio	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Plomo	3	0,038	94,0	3,6	96,5	3,7	96,5	3,7	95,5	3,6	96,5	3,7	96,0	3,6
ICA=			68,4		69,4		69,6		71,0		65,9		65,1	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Intermedia
Admisible
Inadmisible

Gráfica 79. ICA del río Yacuambi del tercer muestreo



Fuente: Autora

Se determina que el valor del índice de calidad de agua para el río en el tercer muestreo es de 71 (gráfica 79), que de acuerdo a la Tabla 6 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 80 -70, lo cual significa que la calidad del agua es “**INTERMEDIA**” para el río Yacuambi, que según la Tabla 3, clasifica el agua como aceptable para cualquier deporte acuático y para cualquier tipo de vida acuática aunque necesite una ligera purificación para algunos procesos industriales y agrícolas.

El índice de calidad de agua varía en el punto 4, correspondiente a Curintza, valor que se debe a la mejora del pH en el agua, el color naranja corresponde a un estado admisible y el color amarillo a un estado intermedio del agua, de acuerdo a la Tabla 6, rangos de clasificación ICA.

En la Tabla 37 se presentan los resultados del índice de calidad (ICA) por puntos del cuarto muestreo.

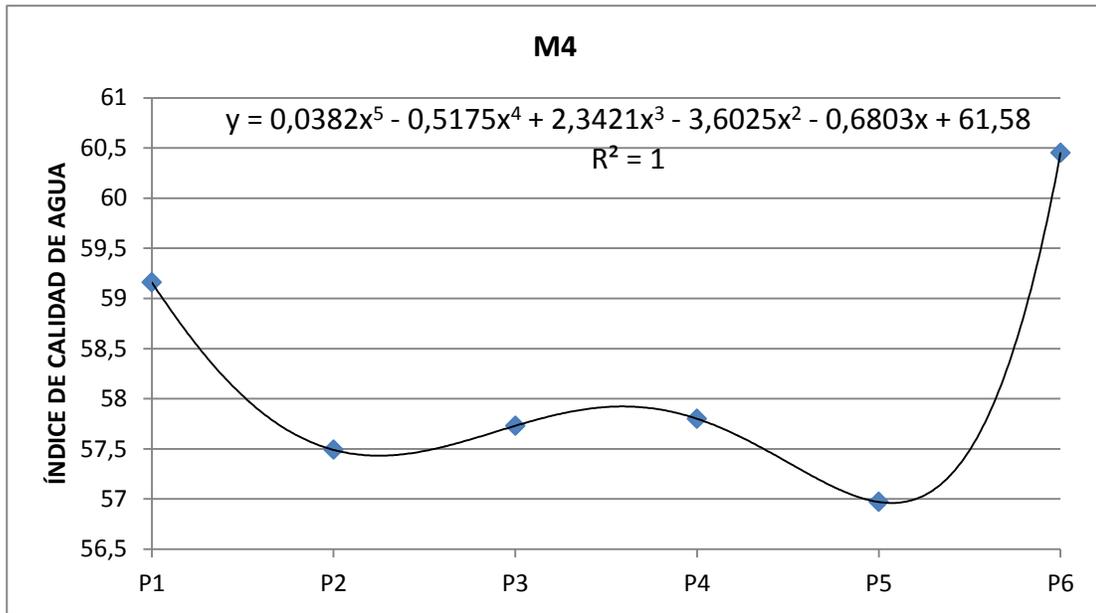
Tabla 37. Resultados del ICA del cuarto muestreo

CUARTO MUESTREO (M4)														
Parámetro	a	Pi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
			Qi	Qi x Pi										
Oxígeno Disuelto	2	0,057	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7
Sólidos Totales	4	0,029	78,2	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	1	0,114	46,5	5,3	52,8	6,0	58,2	6,6	58,5	6,7	52,2	6,0	81,2	9,3
Conductividad E.	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
DQO	1	0,114	0,1	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DBO5	1	0,114	2,9	0,3	3,5	0,4	1,2	0,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Coliformes totales	1	0,114	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloruros	4	0,029	99,3	2,9	99,3	2,9	99,3	2,9	98,9	2,9	99,3	2,9	99,1	2,9
Sulfatos	4	0,029	99,9	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	100,0	2,9
Fosfatos	4	0,029	96,0	2,8	96,0	2,8	96,5	2,8	96,5	2,8	95,7	2,8	97,6	2,8
Magnesio	4	0,029	100,0	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9	99,9	2,9	99,8	2,9	99,8	2,9
Nitrato	3	0,038	99,2	3,8	98,3	3,7	98,6	3,7	98,8	3,8	98,4	3,7	98,7	3,8
Cianuros	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Cadmio	1	0,114	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4
Cromo	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Mercurio	3	0,038	100,0	3,8	97,5	3,7	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Plomo	3	0,038	97,5	3,7	95,0	3,6	90,5	3,4	93,0	3,5	93,0	3,5	96,0	3,6
ICA=			59,2		57,5		57,7		57,8		57,0		60,5	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Intermedia
Admisible
Inadmisible

Gráfica 80. ICA del río Yacuambi del cuarto muestreo



Fuente: Autora

Se determina que el valor del índice de calidad de agua para el río en el cuarto muestreo es de 58 (gráfica 80), que de acuerdo a la Tabla 6 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 60 - 0, lo cual significa que la calidad del agua es **“INADMISIBLE”** para el río Yacuambi, y según la Tabla 3, se clasifica como aceptable pero no recomendable para actividades de recreación, se limita la vida acuática de las especies sensibles, se necesitaría tratamiento para abastecimiento al público.

El índice de calidad de agua varía en el punto 6, correspondiente a la unión del río Zamora con el Yacuambi, valor que se debe a la mejora del pH en el agua, el color naranja corresponde a un estado admisible y el color rojo a un estado inadmisibile del agua, de acuerdo a la Tabla 6, rangos de clasificación ICA.

En la Tabla 38 se presentan los resultados del índice de calidad (ICA) por puntos del quinto muestreo.

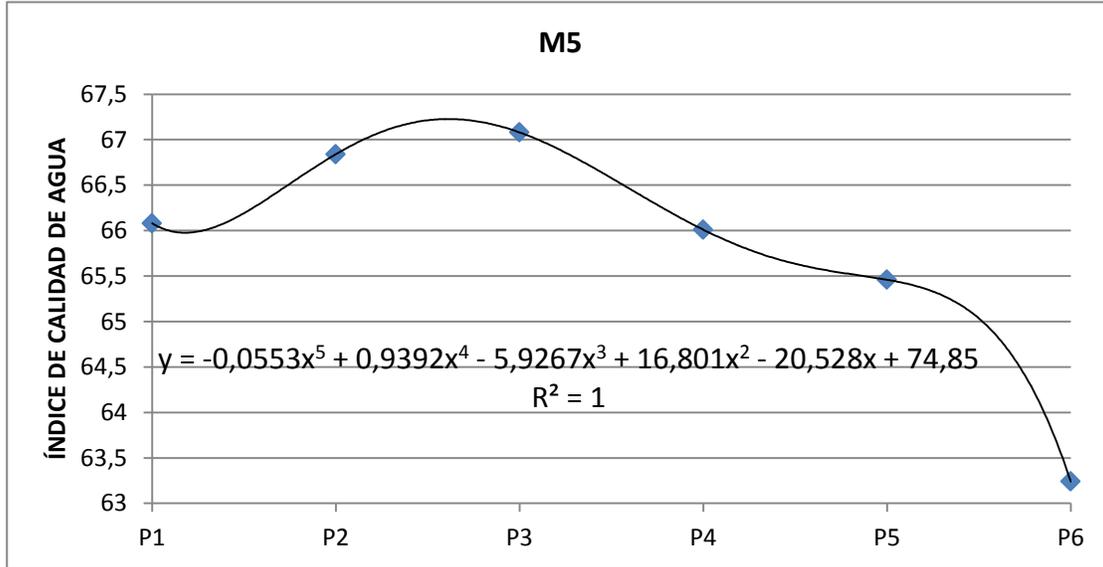
Tabla 38. Resultados del ICA del quinto muestreo

QUINTO MUESTREO (M5)														
Parámetro	a	Pi	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
			Qi	Qi x Pi										
Oxígeno Disuelto	2	0,057	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7	100,0	5,7
Sólidos Totales	4	0,029	95,1	2,8	86,2	2,5	88,0	2,6	75,6	2,2	70,7	2,0	72,9	2,1
pH	1	0,114	22,8	2,6	30,9	3,5	46,5	5,3	48,3	5,5	47,4	5,4	49,2	5,6
Conductividad E.	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
DQO	1	0,114	35,0	4,0	39,4	4,5	33,0	3,8	29,5	3,4	27,9	3,2	18,3	2,1
DBO5	1	0,114	40,2	4,6	44,7	5,1	38,2	4,4	34,6	3,9	33,0	3,8	22,9	2,6
Coliformes totales	1	0,114	8,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloruros	4	0,029	99,7	2,9	99,6	2,9	99,7	2,9	99,4	2,9	99,6	2,9	99,2	2,9
Sulfatos	4	0,029	100,0	2,9	100,0	2,9	100,0	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9
Fosfatos	4	0,029	92,5	2,7	92,3	2,7	89,6	2,6	88,8	2,6	88,3	2,6	85,6	2,5
Magnesio	4	0,029	100,0	2,9	99,9	2,9	99,9	2,9	99,4	2,9	99,8	2,9	99,8	2,9
Nitrato	3	0,038	99,7	3,8	99,6	3,8	99,4	3,8	99,3	3,8	99,1	3,8	98,5	3,7
Cianuros	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Cadmio	1	0,114	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4	100,0	11,4
Cromo	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Mercurio	3	0,038	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8	100,0	3,8
Plomo	3	0,038	99,5	3,8	99,5	3,8	98,5	3,7	97,5	3,7	99,0	3,8	95,5	3,6
<b>ICA=</b>			66,1		66,8		67,1		66,0		65,5		63,2	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Excelente
Buena
Intermedia
Admisible
Inadmisible

Gráfica 81. ICA del río Yacuambi del quinto muestreo



Fuente: Autora

El índice de calidad de agua mantiene igual tendencia a lo largo del río Yacuambi, el agua, el color naranja corresponde a un estado admisible del cauce, de acuerdo a la Tabla 6, rangos de clasificación ICA.

Se determina que el valor del índice de calidad de agua para el río en el quinto muestreo es de 67 (gráfica 81) que de acuerdo a la Tabla 62 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 70 -60, lo cual significa que la calidad del agua es “**ADMISIBLE**” para el río Yacuambi, y que la escala de clasificación para distintos usos (Tabla 3), la categoriza como aceptable pero no recomendable para su uso en actividades de recreación, la vida acuática no puede desarrollarse en su totalidad debido a la presencia de contaminantes que limitan la vida de especies sensibles, necesitando un tratamiento de purificación para abastecimiento al público.

De acuerdo a los cinco muestreos realizados tanto en invierno como en verano y con los índices de calidad de agua por muestreo analizados mediante la adaptación del método de Provencher y Lamontagne (ICA) se determina el índice de calidad de agua del río Yacuambi, (Tabla 39).

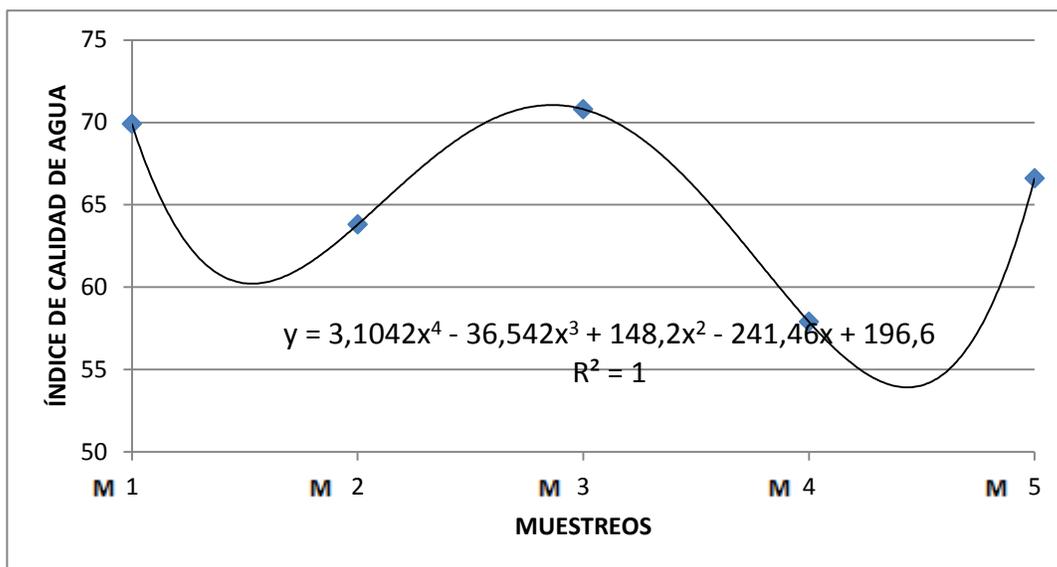
Tabla 39. Resultados del ICA por muestreo

MUESTREO	ICA
M1	70
M2	64
M3	71
M4	58
M5	67

Fuente: Autora

De cada muestreo ( $M_i$ ) realizado se obtiene un índice de calidad de agua para el río (ICA), los cuales al ser analizados conjuntamente proporcionan un valor más representativo del índice de calidad de agua para el río Yacuambi por la adaptación del método de Provencher y Lamontagne.

Gráfica 82. ICA del río Yacuambi



Fuente: Autora

Se encuentra un valor de 66 (gráfica 82) que de acuerdo a la Tabla 6 (Rangos de clasificación ICA) se encuentra en el rango de 70 -60 determinando que el agua de la subcuenca Yacuambi es **“ADMISIBLE”**, es decir, es conveniente para algunos usos del agua ya que existen aún condiciones apropiadas para la vida acuática,

para consumo humano siempre necesitará tratamiento debido al alto contenido de coliformes, los cuales son indicadores de contaminación por vertidos de aguas residuales.

### 3.11. Cálculo del Índice de calidad de agua por el método IQA-MC

En la Tabla 40 se presentan los resultados de las variables normalizadas y en la Tabla 41 los resultados del IQA-MC del primer muestreo.

**Tabla 40. Valores de las variables normalizadas del primer muestreo**

Parámetro	M1					
	Valor de la variable normalizada					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
pH	0,5	1	0,9	0,9	0,9	0,9
Turbiedad	1	1	1	1	1	0,7
Cloruro	1	1	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1	1	1
Dureza Total	1	1	1	1	1	1
Nitrato	1	0,9	0,9	1	1	0,9
Nitrito	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9
Hierro Total	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
Conductividad Eléc.	1	1	1	1	1	1
Fosfatos	0,9	1	1	1	0,9	0,9
% Saturación	1	1	1	1	1	1
Sólidos Totales	1	1	1	1	1	1
Aceites y Grasas	1	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5
DBO	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1
DQO	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7
Cianuros	1	1	1	1	1	1
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0
Temperatura	0,9	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9
Bario	1	1	1	1	1	1
Mercurio	1	1	1	1	1	1
Plomo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Cadmio	0,7	0,7	0,5	1	0,8	0,6
Cromo	1	1	1	1	1	1
Arsénico	0,5	0,4	0,5	0,4	0	0,5
P.Organoclorados	0,5	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5
P.Organofosforados	0,8	1	1	0,8	1	1

Fuente: Autora

Tabla 41. Resultados del IQA-MC del primer muestreo

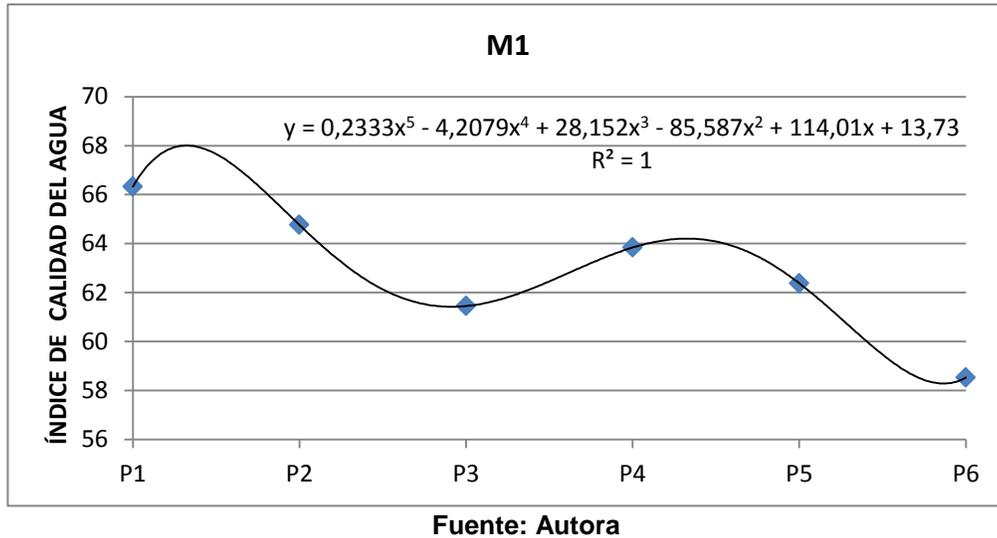
PRIMER MUESTREO (M1)														
Parámetro		W <sub>i</sub> x100	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
			FN <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> x FN <sub>1</sub>	FN <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> x FN <sub>2</sub>	FN <sub>3</sub>	W <sub>3</sub> x FN <sub>3</sub>	FN <sub>4</sub>	W <sub>4</sub> x FN <sub>4</sub>	FN <sub>5</sub>	W <sub>5</sub> x FN <sub>5</sub>	FN <sub>6</sub>	W <sub>6</sub> x FN <sub>6</sub>
Carga Orgánica	DBO5	12	0,4	4,8	0,24	2,88	0,14	1,68	0,32	3,84	0,24	2,88	0,07	0,84
	DQO													
Efecto recuperador	% de saturación	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Contaminación fecal	Coliformes fecales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coliformes totales													
Aspecto estético	Turbiedad	9	1	9	0,6	5,4	0,6	5,4	0,5	4,5	0,6	5,4	0,35	3,15
	Sólidos totales													
	Aceites y Grasas													
Nutrientes	Nitrato	9	0,9	8,1	0,9	8,1	0,81	7,29	0,9	8,1	0,9	8,1	0,81	7,29
	Nitrato													
Nutrientes	Fosfato	8	0,9	7,2	1	8	1	8	1	8	0,9	7,2	0,9	7,2
Metales pesados	Bario	5	0,245	1,225	0,196	0,98	0,175	0,875	0,28	1,4	0	0	0,21	1,05
	Mercurio													
	Plomo													
	Cadmio													
	Cromo													
Arsénico														
Pesticidas Organoclorados		5	0,5	2,5	0,8	4	0,5	2,5	0,5	2,5	0,6	3	0,5	2,5
Pesticidas Organofosforados		5	0,8	4	1	5	1	5	0,8	4	1	5	1	5
Ph		5	0,5	2,5	1	5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5
Cloruro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dureza Total		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hierro Total		1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
Cianuro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura		8	0,9	7,2	0,7	5,6	0,8	6,4	0,9	7,2	0,8	6,4	0,9	7,2
IQA-MC=			66,33		64,76		61,45		63,84		62,38		58,53	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Muy buena
Buena
Regular
Altamente contaminada
Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

Donde  $FN_1, FN_2, FN_3, FN_4, FN_5, FN_6$ , son los valores de las variables normalizadas, las cuales al corresponder a un mismo término se multiplican para generar un solo valor y poder usarse en la Ecuación 2.5

Gráfica 83. IQA-MC del río Yacuambi del primer muestreo



Se determina que el rango de variación del IQA-MC es de 58 a 66, con un índice de calidad de agua para el río de 62 (gráfica 83), indicando un estado “**REGULARMENTE CONTAMINADO**” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que el agua del río es aceptable excepto para especies sensibles, debido a la presencia de sustancias dañinas para la vida acuática, lo cual disminuye la capacidad de autodepuración del río y aumenta la necesidad de tratamiento para abastecimiento a los habitantes de la región.

En la Tabla 42 se presentan los resultados de las variables normalizadas del segundo muestreo.

**Tabla 42. Valores de las variables normalizadas del segundo muestreo**

<b>M2</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Valor de la variable normalizada</b>					
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
pH	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9
Turbiedad	0,9	0,8	1	0,9	1	0,7
Cloruro	1	1	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1	1	1
Dureza Total	1	1	1	1	1	1
Nitrato	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
Nitrito	1	1	0,9	0,8	1	1
Hierro Total	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9
Conductividad Eléc.	1	1	1	1	1	1
Fosfatos	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
% Saturación	1	1	1	1	1	1
Sólidos Totales	1	1	1	1	1	1
Aceites y Grasas	1	1	1	1	0,6	0,5
DBO	0	0	0	0	0	0
DQO	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5
Cianuros	1	1	1	1	1	1
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0
Temperatura	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
Bario	1	1	1	1	1	1
Mercurio	1	1	1	1	1	1
Plomo	0,4	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8
Cadmio	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
Arsénico	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
P.Organoclorados	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3
P.Organofosforados	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

**Fuente: Autora**

En la Tabla 43 se detalla el resultado del IQA-MC por cada punto del segundo muestreo.

Tabla 43. Resultados del IQA-MC del segundo muestreo

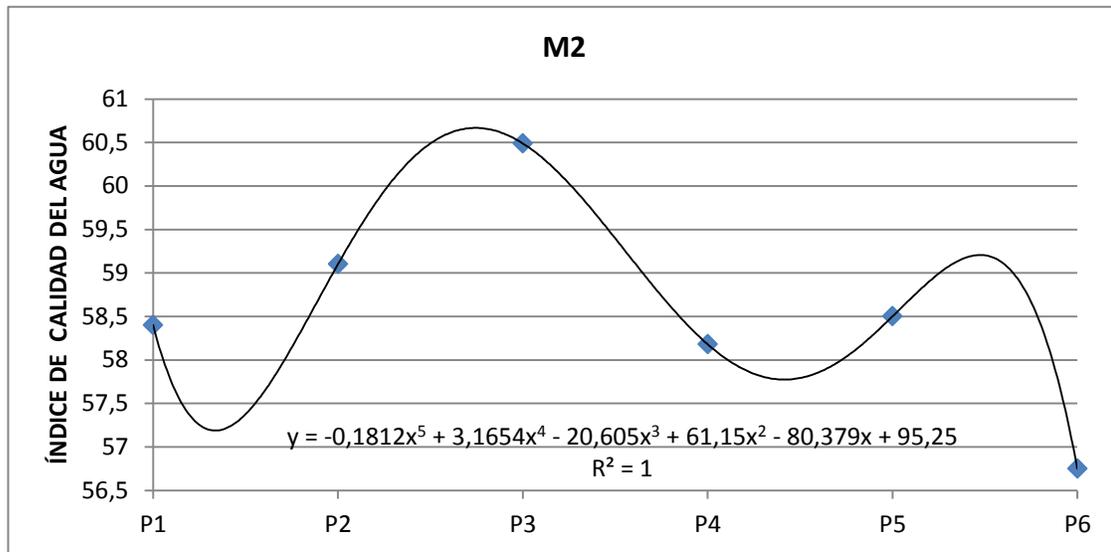
SEGUNDO MUESTREO (M2)														
Parámetro		W <sub>i</sub> x100	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
			FN <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> x FN <sub>1</sub>	FN <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> x FN <sub>2</sub>	FN <sub>3</sub>	W <sub>3</sub> x FN <sub>3</sub>	FN <sub>4</sub>	W <sub>4</sub> x FN <sub>4</sub>	FN <sub>5</sub>	W <sub>5</sub> x FN <sub>5</sub>	FN <sub>6</sub>	W <sub>6</sub> x FN <sub>6</sub>
Carga Orgánica	DBO5	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DQO													
Efecto recuperador	% de saturación	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Contaminación fecal	Coliformes fecales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coliformes totales													
Aspecto estético	Turbiedad	9	0,9	8,1	0,8	7,2	1	9	0,9	8,1	0,6	5,4	0,35	3,15
	Sólidos totales													
	Aceites y Grasas													
Nutrientes	Nitrito	9	0,9	8,1	0,9	8,1	0,81	7,29	0,72	6,48	0,9	8,1	0,8	7,2
	Nitrato													
Nutrientes	Fosfato	8	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2
Metales pesados	Bario	5	0,16	0,8	0,28	1,4	0,28	1,4	0,28	1,4	0,36	1,8	0,32	1,6
	Mercurio													
	Plomo													
	Cadmio													
	Cromo													
Arsénico														
Pesticidas Organoclorados		5	0,2	1	0,4	2	0,3	1,5	0,2	1	0,4	2	0,3	1,5
Pesticidas Organofosforados		5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5
Ph		5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,9	4,5
Cloruro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dureza Total		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hierro Total		1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
Cianuro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura		8	0,8	6,4	0,8	6,4	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2
IQA-MC=			58,4		59,1		60,49		58,18		58,5		56,75	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Muy buena
Buena
Regular
Altamente contaminada
Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

Las variables normalizadas por parámetro se multiplican cuando forman parte de un mismo término; se observa la continuidad del índice de calidad de agua a lo largo del río.

Gráfica 84. IQA-MC del río Yacuambi del segundo muestreo



Fuente: Autora

El rango de variación del IQA-MC es de 58 a 66, con un índice de calidad de agua para el río de 59 (gráfica 84), indicando un estado **“REGULARMENTE CONTAMINADO”** del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que el agua del río es dudosa para especies sensibles, no se necesita de tratamiento para la industria agrícola, pero debido a la contaminación existente por agentes o sustancias antropogénicas no es adecuada para consumo humano ni para actividades de recreación.

En la Tabla 44 se presentan los resultados de las variables normalizadas del tercer muestreo.

**Tabla 44. Variables normalizadas del tercer muestreo**

M3						
Parámetro	Valor de la variable normalizada					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
pH	0,5	1	0,9	0,9	0,5	0,5
Turbiedad	1	1	1	1	1	1
Cloruro	1	1	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1	1	1
Dureza Total	1	1	1	1	1	1
Nitrato	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Nitrito	0,9	0,8	1	0,9	0,9	0,8
Hierro Total	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Conductividad Eléc.	1	1	1	1	1	1
Fosfatos	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
% Saturación	1	1	1	1	1	1
Sólidos Totales	1	1	1	1	1	1
Aceites y Grasas	1	1	1	1	0,6	0,5
DBO	0,1	0	0	0	0	0
DQO	0,7	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5
Cianuros	1	1	1	1	1	1
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0
Temperatura	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	1
Bario	1	1	1	1	1	1
Mercurio	1	1	1	1	1	1
Plomo	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cadmio	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
Arsénico	0,1	0,1	0	0	0	0
P.Organoclorados	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
P.Organofosforados	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Fuente: Autora

En la Tabla 45 se detalla el resultado del IQA-MC por cada punto del tercer muestreo.

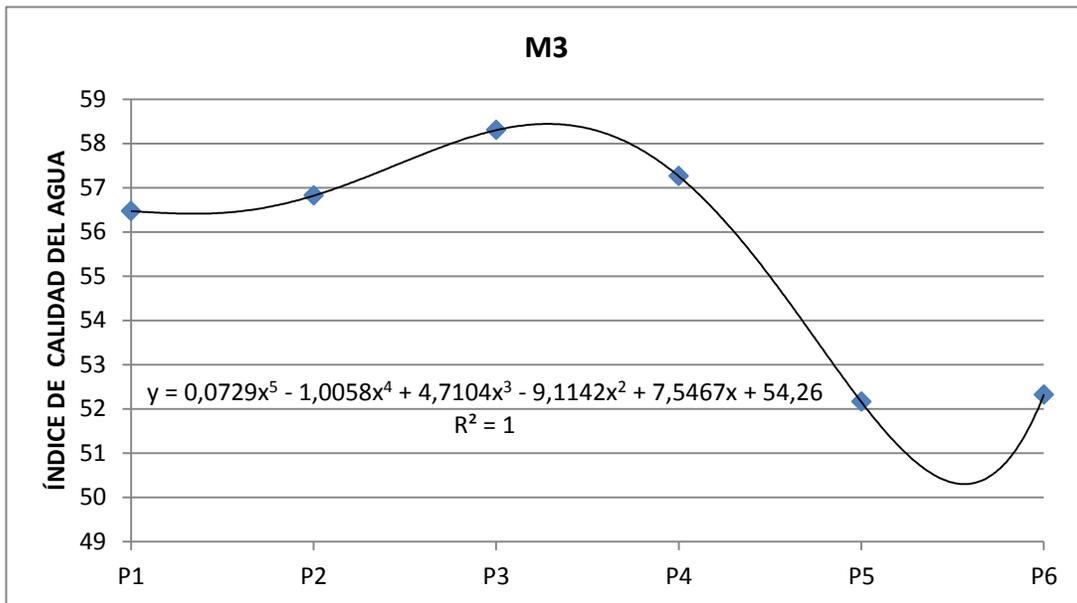
Tabla 45. Resultados del IQA-MC del tercer muestreo

TERCER MUESTREO (M3)														
Parámetro		W <sub>i</sub> x100	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
			FN <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> x FN <sub>1</sub>	FN <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> x FN <sub>2</sub>	FN <sub>3</sub>	W <sub>3</sub> x FN <sub>3</sub>	FN <sub>4</sub>	W <sub>4</sub> x FN <sub>4</sub>	FN <sub>5</sub>	W <sub>5</sub> x FN <sub>5</sub>	FN <sub>6</sub>	W <sub>6</sub> x FN <sub>6</sub>
Carga Orgánica	DBO5	12	0,07	0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DQO													
Efecto recuperador	% de saturación	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Contaminación fecal	Coliformes fecales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coliformes totales													
Aspecto estético	Turbiedad	9	1	9	1	9	1	9	1	9	0,6	5,4	0,5	4,5
	Sólidos totales													
	Aceites y Grasas													
Nutrientes	Nitrito	9	0,72	6,48	0,48	4,32	0,6	5,4	0,54	4,86	0,54	4,86	0,48	4,32
	Nitrato													
Nutrientes	Fosfato	8	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2
Metales pesados	Bario	5	0,07	0,35	0,08	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mercurio													
	Plomo													
	Cadmio													
	Cromo													
Arsénico														
Pesticidas Organoclorados		5	0,2	1	0,2	1	0,3	1,5	0,2	1	0,3	1,5	0,3	1,5
Pesticidas Organofosforados		5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,9	4,5
Ph		5	0,5	2,5	1	5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,5	2,5	0,5	2,5
Cloruro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dureza Total		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hierro Total		1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cianuro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura		8	0,6	4,8	0,7	5,6	0,8	6,4	0,8	6,4	0,8	6,4	1	8
IQA-MC=			56,47		56,82		58,3		57,26		52,16		52,32	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Muy buena
Buena
Regular
Altamente contaminada
Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

Gráfica 85. IQA-MC del río Yacuambi del tercer muestreo



Fuente: Autora

Los rangos de variación varían entre 52 y 58, con un índice de calidad de agua para el río de 55 (gráfica 85), indicando un estado **“REGULARMENTE CONTAMINADO”** del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que el agua del río requerirá un tratamiento de potabilización, es inadecuada para su uso en recreación, pero es apta para regar la mayor parte de cultivos de la región e incluso su uso puede aprovecharse en actividades industriales.

En la Tabla 46 se presentan los resultados de las variables normalizadas del cuarto muestreo.

**Tabla 46. Variables normalizadas del cuarto muestreo**

<b>M4</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Valor de la variable normalizada</b>					
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
pH	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	1
Turbiedad	0,9	0,3	0,4	0,5	0,7	0,6
Cloruro	1	1	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1	1	1
Dureza Total	1	1	1	1	1	1
Nitrato	0,9	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8
Nitrito	0,9	0,9	1	1	1	0,8
Hierro Total	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8
Conductividad Eléc.	1	1	1	1	1	1
Fosfatos	1	1	1	1	0,9	1
% Saturación	1	1	1	1	1	1
Sólidos Totales	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Aceites y Grasas	1	1	1	1	1	1
DBO	0	0	0	0	0	0
DQO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Cianuros	1	1	1	1	1	1
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0
Temperatura	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Bario	1	1	1	1	1	1
Mercurio	1	0	1	1	1	1
Plomo	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Cadmio	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
Arsénico	0,1	0	0	0	0	0
P.Organoclorados	1	1	1	1	1	1
P.Organofosforados	1	1	1	1	1	1

**Fuente: Autora**

En la Tabla 47 se detalla el resultado del IQA-MC por cada punto del cuarto muestreo.

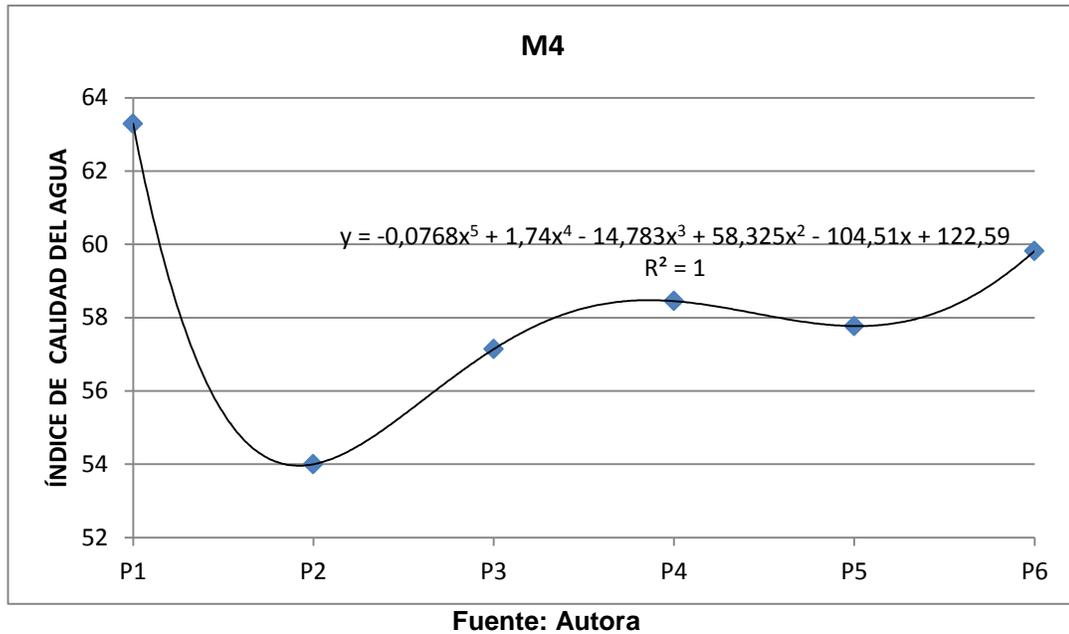
Tabla 47. Resultados del IQA-MC del cuarto muestreo

CUARTO MUESTREO (M4)														
Parámetro		W <sub>i</sub> x100	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
			FN <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> x FN <sub>1</sub>	FN <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> x FN <sub>2</sub>	FN <sub>3</sub>	W <sub>3</sub> x FN <sub>3</sub>	FN <sub>4</sub>	W <sub>4</sub> x FN <sub>4</sub>	FN <sub>5</sub>	W <sub>5</sub> x FN <sub>5</sub>	FN <sub>6</sub>	W <sub>6</sub> x FN <sub>6</sub>
Carga Orgánica	DBO5	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DQO													
Efecto recuperador	% de saturación	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Contaminación fecal	Coliformes fecales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coliformes totales													
Aspecto estético	Turbiedad	9	0,9	8,1	0,27	2,43	0,36	3,24	0,45	4,05	0,63	5,67	0,54	4,86
	Sólidos totales													
	Aceites y Grasas													
Nutrientes	Nitrito	9	0,81	7,29	0,63	5,67	0,8	7,2	0,8	7,2	0,7	6,3	0,64	5,76
	Nitrato													
Nutrientes	Fosfato	8	1	8	1	8	1	8	1	8	0,9	7,2	1	8
Metales pesados	Bario	5	0,08	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mercurio													
	Plomo													
	Cadmio													
	Cromo													
Arsénico														
Pesticidas Organoclorados		5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
Pesticidas Organofosforados		5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
Ph		5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,6	3	0,5	2,5	1	5
Cloruro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dureza Total		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hierro Total		1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
Cianuro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura		8	0,9	7,2	0,7	5,6	0,8	6,4	0,8	6,4	0,8	6,4	0,8	6,4
IQA-MC=			63,29		54		57,14		58,45		57,77		59,82	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Muy buena
Buena
Regular
Altamente contaminada
Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

Gráfica 86. IQA-MC del río Yacuambi del cuarto muestreo



Los rangos de variación se encuentran entre 54 y 63, con un índice de calidad de agua para el río de 58 (gráfica 86), indicando un estado “**REGULARMENTE CONTAMINADO**” del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que el agua del río se limita a la supervivencia de especies no sensibles, lo que representa la disminución de diversidad de organismos acuáticos, favoreciendo el crecimiento de algas, afectando directamente a la luz que penetra al agua y que favorece sus propiedades de autodepuración, se necesitaría un proceso de desinfección para poder adecuar el agua a actividades de abastecimiento al público, incluyendo las actividades de recreación.

En la Tabla 48 se presentan los resultados de las variables normalizadas del quinto muestreo.

**Tabla 48. Valores de las variables normalizadas del quinto muestreo**

<b>M5</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Valor de la variable normalizada</b>					
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
pH	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Turbiedad	1	0,8	0,9	0,7	0,5	0,3
Cloruro	1	1	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1	1	1
Dureza Total	1	1	1	1	1	1
Nitrato	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Nitrito	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	1
Hierro Total	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
Conductividad Eléctrica	1	1	1	1	1	1
Fosfatos	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
% Saturación	1	1	1	1	1	1
Sólidos Totales	1	1	1	1	1	1
Aceites y Grasas	1	1	1	1	1	1
DBO	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
DQO	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Cianuros	1	1	1	1	1	1
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0
Temperatura	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Bario	1	1	1	1	1	1
Mercurio	1	1	1	1	1	1
Plomo	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8
Cadmio	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	1	1
Arsénico	1	1	1	1	1	1
P.Organoclorados	1	1	1	1	1	1
P.Organofosforados	1	1	1	1	1	1

**Fuente: Autora**

En la Tabla 49 se detalla el resultado del IQA-MC por cada punto del quinto muestreo.

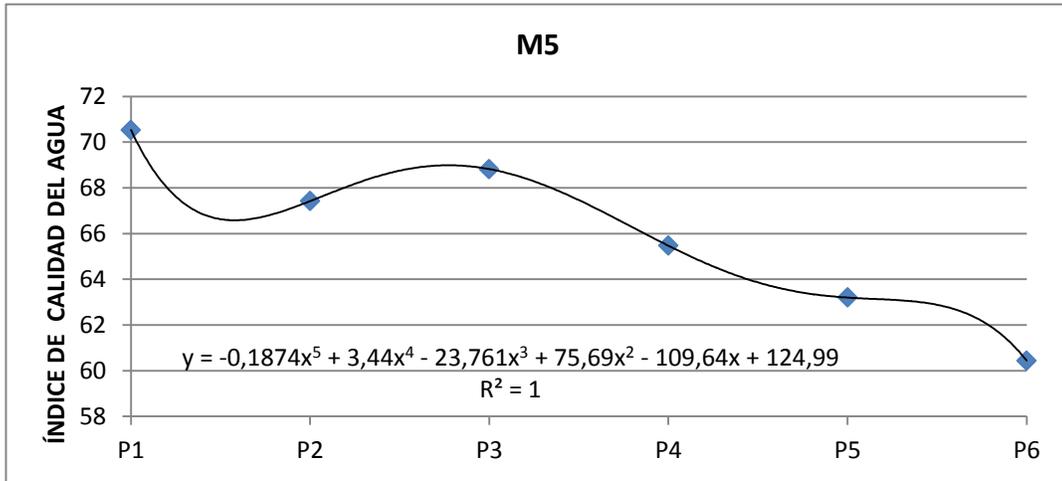
Tabla 49. Resultados del IQA-MC del quinto muestreo

QUINTO MUESTREO (M5)														
Parámetro		W <sub>i</sub> x100	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
			FN <sub>1</sub>	W <sub>1</sub> x FN <sub>1</sub>	FN <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> x FN <sub>2</sub>	FN <sub>3</sub>	W <sub>3</sub> x FN <sub>3</sub>	FN <sub>4</sub>	W <sub>4</sub> x FN <sub>4</sub>	FN <sub>5</sub>	W <sub>5</sub> x FN <sub>5</sub>	FN <sub>6</sub>	W <sub>6</sub> x FN <sub>6</sub>
Carga Orgánica	DBO5	12	0,32	3,84	0,32	3,84	0,32	3,84	0,24	2,88	0,16	1,92	0,07	0,84
	DQO													
Efecto recuperador	% de saturación	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Contaminación fecal	Coliformes fecales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coliformes totales													
Aspecto estético	Turbiedad	9	1	9	0,8	7,2	0,9	8,1	0,7	6,3	0,5	4,5	0,3	2,7
	Sólidos totales													
	Aceites y Grasas													
Nutrientes	Nitrito	9	0,81	7,29	0,72	6,48	0,72	6,48	0,81	7,29	0,72	6,48	0,8	7,2
	Nitrato													
Nutrientes	Fosfato	8	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2	0,9	7,2
Metales pesados	Bario	5	1	5	0,9	4,5	0,9	4,5	0,8	4	0,9	4,5	0,8	4
	Mercurio													
	Plomo													
	Cadmio													
	Cromo													
Arsénico														
Pesticidas Organoclorados		5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
Pesticidas Organofosforados		5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
Ph		5	0,4	2	0,4	2	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
Cloruro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfato		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dureza Total		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hierro Total		1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
Cianuro		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura		8	0,8	6,4	0,8	6,4	0,8	6,4	0,7	5,6	0,8	6,4	0,8	6,4
IQA-MC=			70,53		67,42		68,82		65,47		63,2		60,44	

Fuente: Autora

Calidad de Agua
Muy buena
Buena
Regular
Altamente contaminada
Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

Gráfica 87. IQA-MC del río Yacuambi del quinto muestreo



Fuente: Autora

Los valores del IQA-MC varían entre 60 y 70, con un índice de calidad de agua para el río de 67 (gráfica 87), indicando un estado **“REGULARMENTE CONTAMINADO”** del agua y que de acuerdo a la Tabla 3 de este documento indica que el agua del río se encuentra en mejores condiciones para la vida acuática, pero aun así, sus contaminantes no permiten el uso del agua en actividades de recreación ni para abastecimiento al público, indicando la necesidad de un tratamiento de desinfección para la potabilización del agua, pero presentando la posibilidad de uso en la industria normal del sector.

Para calcular un IQA-MC representativo del río Yacuambi, tramo en estudio, se analiza los valores encontrados en cada muestreo (Tabla 50).

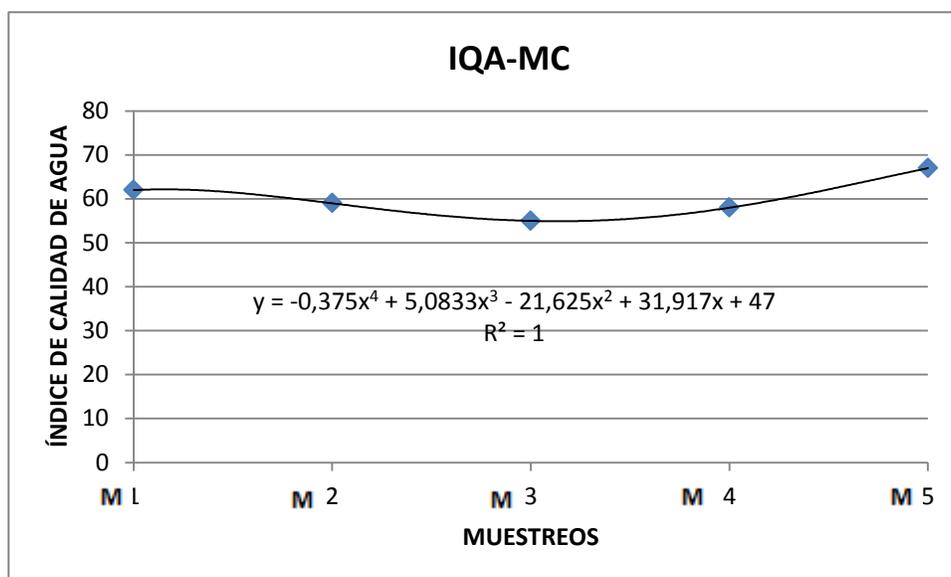
Tabla 50. Resultados del IQA-MC por muestreo

MUESTREO	IQA-MC
M1	62
M2	59
M3	55
M4	58
M5	67

Fuente: Autora

De los cálculos realizados anteriormente para cada muestreo se realiza una nueva gráfica que muestra la tendencia del IQA-MC del río Yacuambi, tramo en estudio.

Gráfica 88. IQA-MC del río Yacuambi



Fuente: Autora

Se encuentra un valor de 56 (Gráfico 88) que de acuerdo a la Tabla 7 (Rangos de clasificación del IQA-MC) se encuentra en el rango de 55 a 67, determinando que el agua de la subcuenca Yacuambi se encuentra **"REGULARMENTE CONTAMINADA"**, indicando la disminución de la vida acuática, dando paso sólo a la existencia de especies no sensibles por la presencia y crecimiento de algas.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Comparación de los resultados del Índice de calidad de agua de los métodos utilizados por punto muestreo

Realizado el cálculo del índice de calidad de agua por el método de Brown, Provencher y Lamontagne y IQA-MC, se puede observar la variación del índice de calidad de agua.

En la Tabla 51 se detalla el resultado del cálculo del índice de calidad por los diferentes métodos, por punto, por muestreo y el general del río Yacuambi, tramo en estudio.

Tabla 51. Comparación de resultados

MÉTODO		BROWN	PROVENCHER Y LAMONTAGNE	IQA-MC
MUESTREO				
M1	P1	75	71	66
	P2	73	69	65
	P3	72	63	61
	P4	75	77	64
	P5	72	69	62
	P6	62	59	59
	RÍO	74	70	62
M2	P1	63	59	58
	P2	65	63	59
	P3	65	64	60
	P4	67	64	58
	P5	68	65	59
	P6	68	65	57
	RÍO	66	64	59

...Sigue

...Continúa

MÉTODO		BROWN	PROVENCHER Y LAMONTAGNE	IQA-MC
MUESTREO				
M3	P1	69	68	56
	P2	69	69	57
	P3	69	70	58
	P4	69	71	57
	P5	68	66	52
	P6	68	65	52
	<b>RÍO</b>	<b>69</b>	<b>71</b>	<b>58</b>
M4	P1	59	59	63
	P2	51	57	54
	P3	54	58	57
	P4	54	58	58
	P5	54	57	58
	P6	55	60	60
	<b>RÍO</b>	<b>55</b>	<b>58</b>	<b>58</b>
M5	P1	58	66	71
	P2	59	67	67
	P3	58	67	69
	P4	59	66	65
	P5	55	65	63
	P6	57	63	60
	<b>RÍO</b>	<b>59</b>	<b>67</b>	<b>68</b>

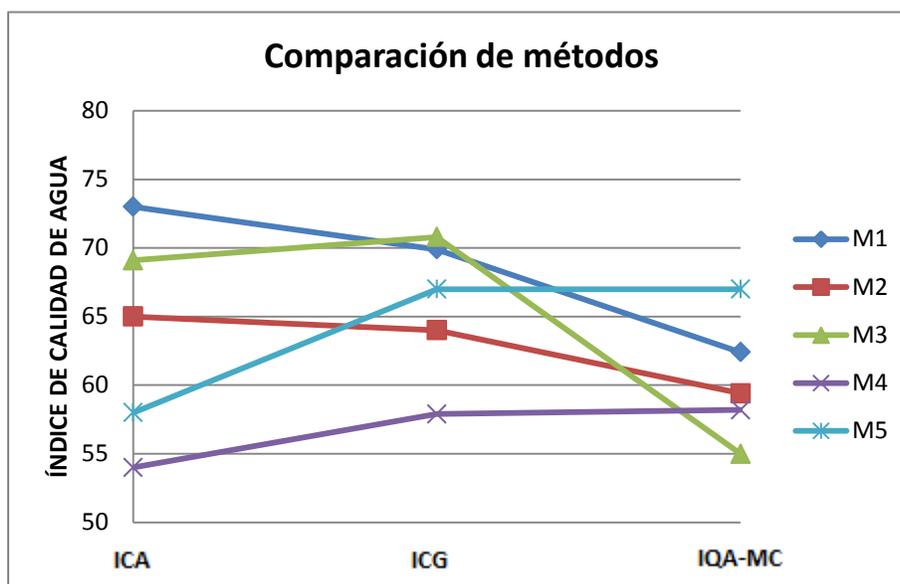
Fuente: Autora

Calidad de Agua		
ICG	ICA	IQA-MC
Excelente	Excelente	Muy Buena
Buena	Buena	Buena
Regular	Intermedia	Regular
Mala	Admisible	Altamente contaminada
Pésima	Inadmisible	Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración

El valor más bajo del índice de calidad del agua del tramo en estudio del río Yacuambi es de 55, y el valor más alto del índice de calidad de agua es de 74, ambos determinados por el método de Brown.

Los rangos de clasificación ICA son más estrictos el momento de categorizar la calidad de agua, limitando su uso para las diferentes actividades diarias del ser humano, el cuarto muestreo es el más crítico ya que las concentraciones de las colonias bacterianas obtenidas en éste estudio fueron altas en especial después de precipitaciones, por el arrastre de desechos fecales de los seres vivos.

Gráfica 89.Comparación de métodos



Fuente: Autora

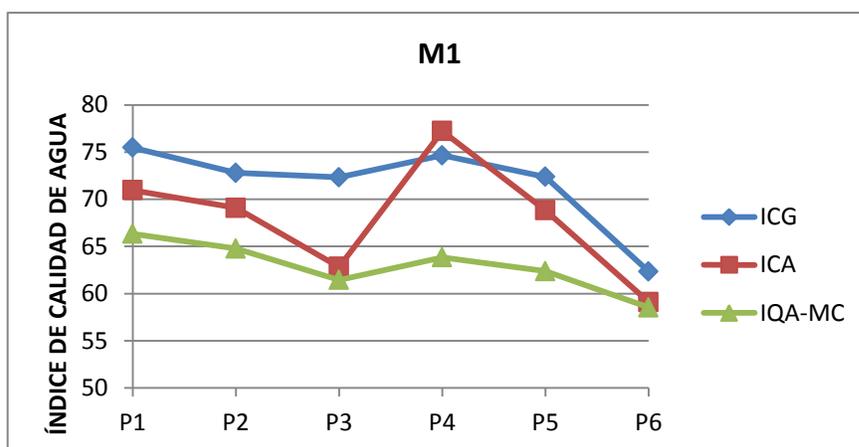
En general las curvas de variación de los diferentes índices de calidad (ICG, ICA, IQA-MC), reflejan independientemente de los periodos de muestreo o época del año, un comportamiento similar.

El índice de calidad de agua general de los cinco muestreos del río de la subcuenca del río Yacuambi es 63, el cual se clasifica como “POCO CONTAMINADO” de acuerdo al criterio de Brown, “ADMISIBLE” con el criterio de Provencher y Lamontagne y “REGULARMENTE CONTAMINADO” de acuerdo al criterio de IQA-MC, lo que indica una necesidad de tratamiento para abastecimiento al público, aceptable pero no recomendable para su uso en recreación, apta para la vida acuática, excepto para las especies sensibles, que se debe a la falta de capacidad de autodepuración del río, ya que los contaminantes exceden la capacidad de disolución a lo largo del río.

## 4.2. Comparación de los resultados por muestreo

Las gráficas siguientes muestran el comportamiento del ICG, ICA, IQM-MC, por cada punto en los diferentes muestreos a lo largo del río Yacuambi del tramo en estudio.

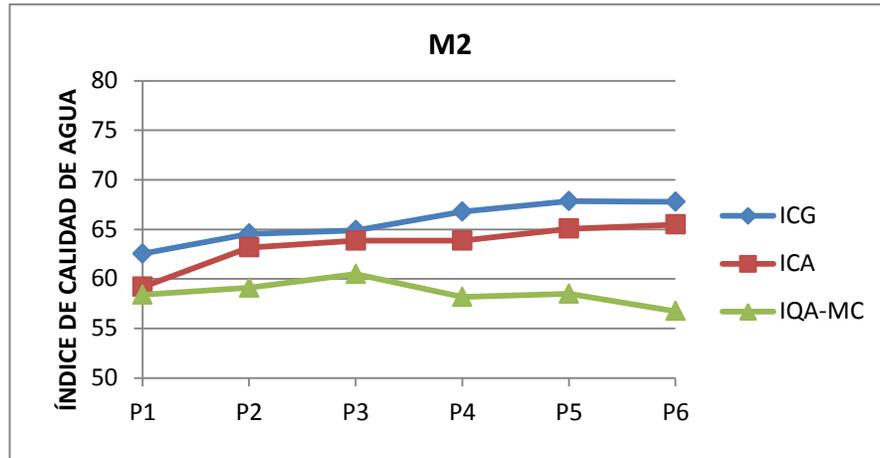
Gráfica 90. Comparación de los métodos utilizados en el primer muestreo



Fuente: Autora

En la gráfica 90 Se puede observar que el ICG muestra valores de calidad más altos debido a que en su cálculo intervienen menor cantidad de variables, las cuales no representan la totalidad de contaminantes vertidos al río Yacuambi del tramo en estudio, el ICA muestra valores intermedios ya que en su cálculo intervienen mayor cantidad de parámetros, entre ellos algunos metales pesados, mientras que el IQA-MC con más parámetros muestra valores más bajos ya que además de metales pesados intervienen pesticidas organoclorados y organofosforados en el cálculo. Observando que mientras más parámetros o variables intervienen en el cálculo éste se asemeja más a la realidad.

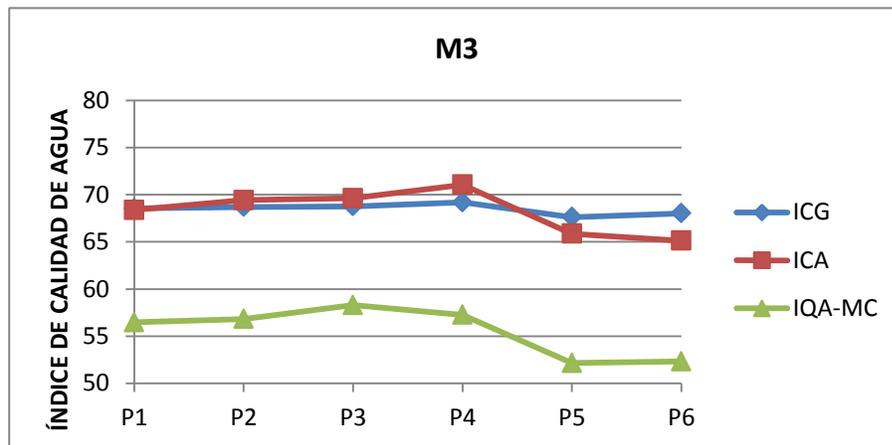
**Gráfica 91. Comparación de los métodos utilizados en el segundo muestreo**



Fuente: Autora

En la gráfica 91 se puede observar que el ICG y el ICA mantienen la misma tendencia, mientras que el IQA-MC muestra valores más bajos y con una tendencia de disminución a lo largo del río Yacuambi del tramo en estudio.

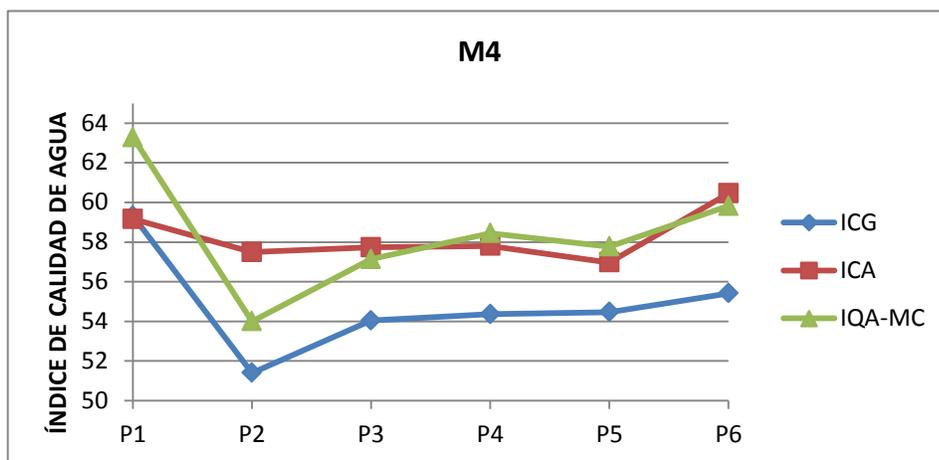
**Gráfica 92. Comparación de los métodos utilizados en el tercer muestreo**



Fuente: Autora

En la gráfica 92 se puede observar que el ICG, el ICA y el IQA-MC en todos los puntos mantienen igual tendencia, con la diferencia que el IQA-MC muestra valores más bajos debido a los parámetros que intervienen en el cálculo, donde los contaminantes son mayores.

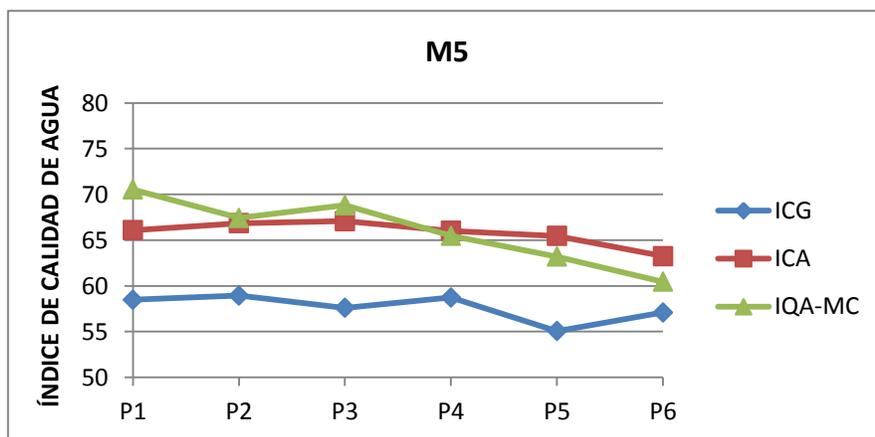
Gráfica 93. Comparación de los métodos utilizados en el cuarto muestreo



Fuente: Autora

La gráfica 93 muestra que a pesar de que en el cálculo intervienen más variables su calidad es mejor debido a la ausencia de varios metales pesados y de pesticidas tanto organoclorados como organofosforados.

Gráfica 94. Comparación de los métodos utilizados en el quinto muestreo



Fuente: Autora

En la gráfica 94 se observa que todos los métodos mantienen igual tendencia a pesar de sus variaciones, esto se debe a que analizan diferentes contaminantes y cómo se relacionan entre sí.

## 5. CONCLUSIONES

- Se ha calculado un índice de calidad de agua por tres métodos diferentes, para determinar las condiciones en las que se encuentra el cauce, primero, el **método de Brown (ICG)** utilizado para medir los cambios en la calidad de agua en tramos particulares del río a través del tiempo, utiliza nueve variables conocidas como básicas; segundo, el **método de Provencher y Lamontagne (ICA)**, éste método incluye las nueve variables básicas y catorce complementarias de las cuales pueden incluirse o no en el cálculo por distintos factores, como ausencia de datos o de concentración en el agua; tercero, el **método IQA-MC**, construido en la presente investigación, abarcando las nueve variables básicas y veinte y ocho complementarias, divididas en términos de carga orgánica, efecto recuperador, contaminación fecal, aspecto estético, nutrientes, metales pesados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados.
- El índice de calidad de agua para el río Yacuambi calculado mediante el método de Brown es de 64, clasificando al agua como “regular o poco contaminada”, lo que implica que se la puede considerar como aceptable pero no recomendable en actividades o en usos de recreación, sin necesidad de tratamiento para procesos industriales o agrícolas, con una mayor necesidad de purificación, desinfección para abastecimiento al público, debido a los contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser creados de forma natural o ser el resultado de descargas de aguas residuales, domésticas o agrícolas.
- El índice de calidad de agua para el río Yacuambi en el tramo en estudio calculado mediante la adaptación del método de Provencher y Lamontagne es de 66, valor que se clasifica como “admisible”, y que categoriza al agua como aceptable pero no recomendable en actividades recreativas, sin

tratamiento para la industria normal, permitiendo la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas excepto de especies sensibles.

- El índice de calidad de agua para el tramo en estudio del río Yacuambi calculado mediante el método IQA-MC es de 60, valor que se clasifica como “regularmente contaminado”, categorizando al agua como aceptable pero no recomendable para usos recreativos, restringiendo deportes de inmersión por la presencia de bacterias, teniendo generalmente menos diversidad de organismos acuáticos, aumentando con frecuencia el crecimiento de algas y con necesidad de tratamiento potabilizador para consumo humano.
- Comparando los resultados obtenidos por los métodos, Brown, Provencher y Lamontagne e IQA-MC, se observa que mantienen igual tendencia de calidad, con un promedio de 63, definiendo que su principal problema es la presencia de coliformes, materia orgánica y pesticidas, mostrando la disminución de la calidad de agua a medida que atraviesa el valle de Yacuambi, sobretodo en la unión de los ríos Yacuambi y Zamora por la incorporación de los contaminantes que son vertidos al río Zamora.
- Se recomendaría aumentar puntos de muestreo aguas arriba de las descargas para determinar cuantitativamente el nivel de contaminación por actividades antropogénicas.
- Analizando los resultados obtenidos, se puede mencionar en el tramo en estudio la urgente necesidad de tomar medidas correctivas adecuadas para controlar el nivel de contaminación del río Yacuambi, que se evidencia en la presente investigación, para lo cual se sugiere el tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas al cauce natural y el control de la minería artesanal al igual que el uso adecuado de pesticidas.

## **6. GLOSARIO**

### **Acidificación**

Es el proceso u operación unitaria por el cual el pH de una sustancia se modifica a la baja, si es menor de 7 es ácido, si es mayor de 7 alcalino.

### **Acuicultura**

Es el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos de cultivo de especies acuáticas vegetales y animales. Es una importante actividad económica de producción de alimentos, materias primas de uso industrial y farmacéutico, y organismos vivos para repoblación u ornamentación.

Los sistemas de cultivo son muy diversos, de agua dulce o agua de mar, y desde el cultivo directamente en el medio hasta instalaciones bajo condiciones totalmente controladas. Los cultivos más habituales corresponden a organismos planctónicos (microalgas y Artemia), macroalgas, moluscos y crustáceos.

### **Aérobico**

Se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno.

### **Análogo**

Comparación o relación entre varias razones o conceptos; comparar o relacionar dos o más seres u objetos, a través de la razón, señalando características generales y particulares, generando razonamientos basados en la existencia de semejanzas entre estos, aplicando a uno de ellos una relación o una propiedad que está claramente establecida en el otro.

## **Antropogénico**

El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

## **Bacteriológico**

Relativo al estudio de las bacterias.

## **Biocida**

Los biocidas pueden ser sustancias químicas sintéticas o de origen natural o microorganismos que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo considerado nocivo para el hombre.

## **Biodiversidad**

Es el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano. La biodiversidad comprende igualmente la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que permiten la combinación de múltiples formas de vida, y cuyas mutuas interacciones con el resto del entorno fundamentan el sustento de la vida sobre el planeta.

## **Biota/Biótico**

En su uso más habitual, mediante el término biota se designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada.

## **Cambio climático**

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy

diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad, etc. En general, se trata de cambios de orden natural, pero actualmente, se los encuentra asociados con el impacto humano sobre el planeta.

### **Orgánico**

Se refiere a aquello que presenta condiciones o aptitudes para tener vida y descomponerse.

### **Cationes**

Un catión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, esto es, con defecto de electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.

### **Cianobacterias**

Son una división del reino Monera que comprende las bacterias capaces de realizar fotosíntesis oxigénica y, castellanizándose a menudo como algas verdeazuladas.

### **Coloidal**

La definición clásica de coloide, también llamada dispersión coloidal, se basa en el tamaño de las partículas que lo forman, llamadas micelas. Poseen un tamaño bastante pequeño, tanto que no pueden verse con los mejores microscopios ópticos, aunque son mayores que las moléculas ordinarias.

### **Estrés hídrico**

Cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.).

### **Esquistos**

Son un tipo de roca sedimentaria blanda, que se forma por la deposición de capas sucesivas de partículas finas (como arcilla, limo o barro) transportadas principalmente por el agua.

### **Eutrofización**

Proceso natural en ecosistemas acuáticos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos.. La eutrofización se produce en muchas masas de agua como resultado de los vertidos agrícolas, urbanos e industriales.

### **Geomorfología**

Es la rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre.

### **Hidroxilo**

Es un grupo funcional compuesto de 1 átomo de oxígeno y también 1 de hidrógeno, característico de los alcoholes.

### **Permafrost**

Capa de suelo o de roca de profundidad variable en la que la temperatura ha estado por debajo de cero ininterrumpidamente durante miles de años.

### **Polución**

La polución es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio.

**Salobre**

Se llama salobre aquella que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar.

**SENAGUA**

Secretaría Nacional de Agua

**DBO**

Demanda bioquímica de oxígeno

**DQO**

Demanda química de oxígeno

**ICA**

Índice de calidad de agua

**ICG**

Índice de calidad general

**CNRH**

Consejo Nacional de Recursos Hídricos

**FUNDACYT**

Fundación Nacional de Ciencia y Tecnología

**Subcuenca**

Está constituida por varios ríos tributarios que van a dar a un cauce principal, formando una unidad territorial de menor superficie que la cuenca.

## 7. Referencias bibliográficas

1. Álvarez, A., Rubiños, J., Gavi, F., Alarcón, J., Hernández, W., Ramírez, C., Mejía, E., Pedrero, F., Nicolas, E., Salazar, E., 2006, *Índice De Calidad Del Agua En La Cuenca Del Río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico Y Predicción*. Revista Internacional De Botanica Experimental. (pp 71-83)
2. Asociación de centros y organizaciones Kichwas. *Saraguros de Yacuambi "YACUTA"*. Acuerdo No. 0238. (pp 3-12)
3. Agency for a toxic substances and disease registry. (2002). *Metoxicloro*.
4. American Public Health Association. American water works association and water environment federation. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (18th ed.). American public health association, Washington, DC, EE.UU.
5. Brown, R. (1970). *A water quality index*. Water Sewage Works 11. [s.n]
6. Brown, R.M., McClelland, N., Deininger, R.A., y R.G., Tozer, (1970), *A Water Quality Index - Do We Dare*, Proceedings of the National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management, Conference of State Sanitary Engineers and Wisconsin University, July 21-23, 1970, Madison, WIS, p. 364-383, 1970.
7. Ban Ki Moon. (2012). *Water for life*. International decade for action. Secretario general de las naciones unidas.
8. Díaz, M. (2006). *Indicadores de la calidad de agua*. Argentina.
9. Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Zamora Chinchipe (CDC-MAEZAM-001-2010)
10. División control y desempeño ambiental. (2008). Documento sobre el beta HCH.

11. División control y desempeño ambiental. (2008). Documento sobre el alfa HCH.
12. Fernández, N., Solano. (2005). *Índices de calidad de agua y de contaminación del agua*. Universidad de Pamplona.
13. Ferrer Polo, J., Seco Torrecillas, A. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia, España: Universidad Técnica de Valencia.
14. Gestión ambiental de América Central. *Guía ISO 9001:2000*. Manual para muestreos de agua.
15. Grupo Prevenir Consulting. (2001-2011). *Fonofos*.
16. Grupo Prevenir Consulting. (2001-2011). *Fenamifos*.
17. Grupo Prevenir Consulting. (2001-2011). *Quinalfos*.
18. Guzmán, V. Secretaría nacional del agua. (2011). *Calidad de agua en el Ecuador*.
19. Hallock, D. (2002). A water quality index for ecology's stream monitoring program. *Publication No. 02-03-052*.
20. Hayes, W.J. (1975). *Toxicology of pesticides*. The Williams and Wilkins Company, EE.UU.
21. Lamontagne, M.P., Provencher, M. (1977). *Method of determination an index to evaluate the quality of different uses of water according to the Ministry of Natural Resources and Water Quality Services*. Québec. W.E. 34
22. Los indicadores y la Oficina de evaluación, la dirección de ecosistemas ciencia y el servicio de conservación del medio ambiente. Medio Ambiente de Canadá. Los nutrientes en el medio ambiente canadiense. (Ottawa: Environment Canada)

23. Ministerio de trabajo y asuntos sociales. (2008). *Ficha internacional de seguridad química. Malation*. España.
24. Ministerio de trabajo y asuntos sociales. (2008). *Ficha internacional de seguridad química. Carbofenotion. Malation*. España.
25. Municipio de Yacuambi. (2000). *Yacuta. Plan de desarrollo local de Yacuambi*.
26. Nordberg, G. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Metales: Propiedades químicas y toxicidad*. (cap. 63)
27. Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización. NTE INEN 2226:00 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo.
28. Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización. NTE INEN 2176: 98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.
29. Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización. NTE INEN 2169:98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras.
30. Norma oficial mexicana. NOM 014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
31. Ott, W. 1978. *Environmental indeces, theory and practice*. Michigan (pp 28-29)
32. ONU-Agua. (2011) *Políticas sobre la calidad del agua*.
33. Órgano del gobierno del Ecuador. (2010) Registro oficial No.109
34. Orozco, C., Pérez, A., González, M.N., Rodríguez, F., Alfayate, J. (2005). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. (3ra ed.). Thomson editoriales Spain Paraninfo, S.A.

35. Organización Mundial de la salud. (2003). *Dimethoate in drinking water*. Ginebra, Suiza.
36. Paredes, P. (2008). *Calidad de las aguas*. Ecuador: Empresa cantonal de agua potable y alcantarillado de Guayaquil.
37. Palmer, M. (2004). *Ecology for a crowded planet*. (pp 304)
38. Reynolds, K.A. (2003). *Coliform Bacteria: A failed indicator of water quality*. (Vol.45, num. 9)
39. Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo, H., Colina, M. (2010). *Water quality index estimation in the basin of the Catumbo river*. Venezuela
40. Samboni Ruiz, N.E., Carvajal Escobar, Y. Escobar, J.C. (2007). *Revisión de parámetros físico químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. (Vol. 27, num. 003). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
41. Steven, H.H., 1975. *Water temperature – influential factors, field measurement and data presentation*.
42. Secretaría nacional del agua. (2012). *Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del río Coca*. Ecuador.
43. Secretaría nacional del agua. (2011). *Calidad del agua en los cantones San Lorenzo y Eloy Alfaro*. Esmeraldas, Ecuador.
44. Sierra Ramírez, C.A., *Calidad de agua*. (1ra ed.) Colombia: Universidad de Medellín.
45. Tortorelli, M., Hernández D. (1995) *Ecosistemas de aguas continentales y metodologías para su estudio, calidad de agua de un ambiente acuático sometido a efluentes contaminantes*. (1ra ed.) Argentina: Ediciones del Sur. La Plata.

46. United Nations Children's Fund (UNICEF). (2008). *Unicef handbook on water quality*. New York, EE.UU.
47. United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). *Water Quality*.
48. UNESCO. (2008). *Calidad de agua para los ecosistemas y salud humana*. (2da edición).
49. UNESCO. (2012). *Recursos hídricos*. (Cap.7)
50. Webber, L. (2009). Diagnóstico y plan de monitoreo de la calidad del agua en las áreas de interés hídrico de los cantones Celica, Pindal, Puyango y Macará. *Naturaleza & Cultura Internacional*.
51. Wilkinson, C.F. (1976). *Insecticide biochemistry and physiology*. Plenum press. EE.UU.
52. [www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp12.htm](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp12.htm)
53. <http://www.elaw.org/node/3736>
54. [http://www.efficacitas.com/efficacitas\\_es/default2.php?siteid=32](http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/default2.php?siteid=32)
55. <http://ww.boe.es/boe/dias/1986/04/30/pdfs/A15500-15537.pdf>
56. <http://es.scribd.com/doc/10159579/Articulo-lca-2008>
57. <http://www.epa.gov/pesticides/about/index.htm>
58. [http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/c\\_2.htm](http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/c_2.htm)
59. <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/>
60. <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Biologicos>

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1.

#### Anexo fotográfico de la toma de muestras y ensayos de laboratorio

<b>Fotografía 1. Puente de Tutupali</b>	<b>Fotografía 2. Muestreo de Tutupali</b>
	
<b>Fuente: Autora</b>	
<b>Fotografía 3. Toma de muestra para análisis químico</b>	<b>Fotografía 4. Determinación de Oxígeno disuelto mediante el uso de multímetro</b>
	
<b>Fuente: Autora</b>	

**Fotografía 5. El Puerto**



**Fotografía 6. Muestreo de El Puerto**



**Fuente: Autora**

**Fotografía 7. Determinación de oxígeno disuelto con uso de multímetro**



**Fotografía 8. Napurak**



**Fuente: Autora**

**Fotografía 9. Toma de muestra para análisis físico de agua de sitio Napurak**



**Fotografía 10. Muestra instantánea Napurak**



**Fuente: Autora**

**Fotografía 11. Curintza**



**Fotografía 12. Muestreo Curintza**

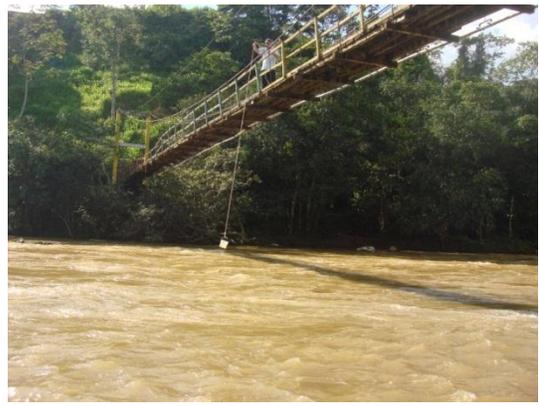


**Fuente: Autora**

**Fotografía 13. San Antonio**



**Fotografía 14. Muestreo San Antonio**



**Fuente: Autora**

**Fotografía 15. Unión del río Zamora con el Yacuambi**



**Fotografía 16. Muestreo de la unión del río Zamora con el Yacuambi**



**Fuente: Autora**

<p align="center"><b>Fotografía 17. Muestreo para análisis químico del sector la Saquea</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 18. Muestreo para análisis físico del sector la Saquea</b></p>
	
<p align="center"><b>Fuente: Autora</b></p>	
<p align="center"><b>Fotografía 19. Determinación de % de saturación in situ</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 20. Determinación de % de saturación in situ</b></p>
	
<p align="center"><b>Fuente: Autora</b></p>	
<p align="center"><b>Fotografía 21. Determinación de conductividad eléctrica en laboratorio mediante electroquímico</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 22. Muestras de agua para análisis de nitratos por el método HACH</b></p>
	
<p align="center"><b>Fuente: Autora</b></p>	

<p><b>Fotografía 23. Análisis de nitratos mediante el uso de espectrofotómetro</b></p>	<p><b>Fotografía 24. Determinación de turbidez mediante el uso de turbidímetro</b></p>
	
<p><b>Fuente: Autora</b></p>	
<p><b>Fotografía 25. Muestras de agua de los diferentes puntos de muestreo</b></p>	<p><b>Fotografía 26. Determinación de DQO mediante el espectrofotómetro</b></p>
	
<p><b>Fuente: Autora</b></p>	
<p><b>Fotografía 27. Análisis de sólidos totales mediante método gravimétrico</b></p>	<p><b>Fotografía 28. Análisis de cloruro, mediante método de precipitación</b></p>
	
<p><b>Fuente: Autora</b></p>	

## ANEXO 2. Ecuaciones utilizadas

No.	Nombre	Ecuación	Simbología	
2.1	Índice de calidad de agua general, método Brown	$ICG = \sum_{i=1}^9 (Sub_i \times W_i)$	Sub <sub>i</sub> :	calidad del parámetro (i), en función de su concentración
			W <sub>i</sub> :	Peso específico asignado a cada parámetro (i)
2.2	Índice de calidad de agua, adaptación método Provencher y Lamontagne, expresión general	$ICA = \sum_{i=1}^n (F_1 \lambda_i \times F_2 \lambda_{i,n})$	F <sub>1</sub> :	Función que transforma el valor analítico de cada parámetro en un valor adimensional, obteniendo el nivel de calidad Q <sub>i</sub>
			F <sub>2</sub> :	Función que podnera la influencia de cada parámetro en el global del índice, obteniendo el peso específico del parámetro P <sub>i</sub>
			λ <sub>i</sub> :	Variable o parámetros analizados
			n:	Número de parámetros que intervienen en la sumatoria
2.3	Índice de calidad de agua, adaptación método Provencher y Lamontagne, expresión final	$ICA = \sum_{i=1}^n Q_i \times P_i$	Q <sub>i</sub> :	Nivel de calidad, que se calcula con ayuda de expresiones matemáticas y gráficas por parámetro
			P <sub>i</sub> :	Peso específico calculado de cada parámetro
2.4	Peso específico de cada parámetro	$P_i = \frac{\left(\frac{1}{a_i}\right)}{\sum_1^n \left(\frac{1}{a_i}\right)}$	a <sub>i</sub> :	Coefficiente concerniente a la influencia relativa de cada parámetro, varía entre 1 y 4
2.5	Índice de calidad de agua, método IQA-MC	$IQA-MC = (a(Co) + b(Er) + c(Cf) + d(Ae) + e(N) + f(Mp) + g(Po1) + h(Po2) + i(Ot)) \times 100$	Co:	Carga orgánica
			Er:	Efecto recuperador
			Cf:	Coliformes
			Ae:	Aspect estético
			N:	Nutrients
			Mp:	Metales pesados
			Po1:	Pesticidas organoclorados
			Po2:	Pesticidas organofosforados
			Ot:	Otros
a,b,c,d,e,f,g,h,i:	Peso específico de cada parámetro			