



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO DE LA TESIS:

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF
DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

**MARÍA SOLEDAD CARRILLO ALVARADO
PAOLA DENNISSE URGILÉS CALLE**

DIRECTOR:

ING. FAUSTO FERNANDO GARCÍA ÁVILA, MSC

TUTOR:

ING. PEDRO RAFAEL ALVARADO CARRIÓN, MSC

CUENCA – ECUADOR

2016



RESUMEN

La calidad del agua de los ríos sufre un constante deterioro, debido a la presencia de contaminantes de origen natural y antropogénico. El aumento de los niveles de dichos contaminantes, ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de estos cuerpos de agua. Entre los múltiples usos del agua existe uno, la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía que poseen las masas de agua en el transcurrir por los ríos. La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP – Unidad de Negocio HIDROPAUTE, que administra importantes proyectos hidroeléctricos, desea monitorear la calidad del agua de los ríos Mazar y Pindilig, principales afluentes de la cuenca del río Paute. Permitiendo dar cumplimiento a su política de gestión integral, como empresa pública líder que garantiza la soberanía energética del país y promueve el desarrollo sustentable. El Índice de calidad de agua (ICA) permite evaluar e informar acerca de la calidad del recurso hídrico. Para ello en la presente tesis se aplicó el modelo de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NSF); el cual consta de 9 parámetros (temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales y coliformes fecales), los cuales fueron determinados en los monitoreos correspondientes a los dos ríos durante el período Mayo - Noviembre 2015. Los resultados obtenidos, permitieron determinar la calidad actual de estos cuerpos de agua, para que así la Empresa CELEC EP – HIDROPAUTE pueda tomar decisiones en la gestión de estas subcuencas hidrográficas.

Palabras Clave: Monitoreos, Calidad del agua, Índice de calidad del agua – NSF, Subcuencas, Gestión del recurso hídrico.



ABSTRACT

The water quality of rivers is affected by a continued deterioration due to the presence of natural and anthropogenic contaminants. The increased levels of these pollutants, has generated the need to quantify and evaluate the quality of these water bodies. Among the multiple uses of water there is one, generating electricity by harnessing the energy that have water bodies in the rivers passing by. The Electricity Corporation of Ecuador CELEC EP - HIDROPAUTE Business Unit, which manages important hydroelectric projects, wants to monitor water quality of the Pindilig and Mazar rivers, main water affluents of the Paute River, so as a leader public company that guarantees energy sovereignty of the country and promotes sustainable development, it can comply with its integrated management policy. The water quality index (WQI) allows to evaluate and report on the water quality water resources. To do this thesis used the model of the National Sanitation Foundation of the United States (WQI-NSF), which consists of 9 parameters: (temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity, biochemical oxygen demand, nitrates, phosphates, total dissolved solids and fecal coliforms), which were determined in the monitoring for the two rivers during the period May – November 2015. The obtained results allowed to determine the actual quality of these water bodies, so that the CELEC EP - HIDROPAUTE Company can make decisions in the management of these watersheds.

Keywords: Monitorings, Water Quality, Water Quality Index - WQI_{NSF}, Water Resource Management.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDAD	x
DEDICATORIAS	xiv
AGRADECIMIENTOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE.....	5
1.1.1. Unidad de Negocio HIDROPAUTE	5
1.1.2. Plan Estratégico	8
1.1.3. Sociedad y Ambiente.....	8
1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE	10
1.2.1. Ubicación y superficie	10
1.2.2. División en subcuencas	11
1.2.3. Estado actual de la cuenca del río Paute.....	12
1.2.4. Importancia de conservación de la cuenca del río Paute	12
1.3. SUBCUENCAS DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG.....	12
1.3.1. Subcuenca del río Mazar	13
1.3.1.1. Características Generales.....	13
1.3.1.2. Formaciones Vegetales	14
1.3.1.3. Climatología.....	16
1.3.1.4. Caudales.....	17
1.3.1.5. Calidad del agua.....	18
1.3.1.6. Usos del Suelo	18
1.3.2. Subcuenca del río Pindilig.....	19
1.3.2.1. Características Generales.....	19
1.3.2.2. Formaciones Vegetales	20
1.3.2.3. Climatología.....	22
1.3.2.4. Caudales.....	23
1.3.2.5. Calidad del agua.....	24



1.3.2.6. Usos del suelo	25
1.3.3. Marco legal del agua	25
1.4. INDICE DE CALIDAD DEL AGUA	26
1.4.1. Características de los índices en general	26
1.4.2. Usos de los índices	26
1.4.3. Índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento los Estados Unidos de Norteamérica (ICA - NSF)	27
1.4.3.1. Antecedentes sobre el índice de calidad de agua de la NSF	27
1.4.3.2. Características del ICA-NSF	28
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	30
2.1. TIPO DE ESTUDIO	31
2.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
2.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO	37
2.3.1. Toma y Conservación de las muestras	38
2.3.2. Equipos	41
2.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ICA-NSF	44
2.4.1. Parámetros de la calidad del agua del modelo NSF	44
2.4.1.1. Importancia e impacto de los parámetros de calidad	44
2.4.1.1.1. Parámetros Físicos	45
2.4.1.1.2. Parámetros Químicos	46
2.4.1.1.3. Parámetros Microbiológicos	49
2.4.2. Cálculo del índice de calidad del agua del modelo NSF	50
2.5. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL	59
2.5.1. Determinación del caudal utilizando micromolinete	59
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
3.1. VARIABILIDAD DEL ICA – NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG	64
3.1.1. Subcuenca del río Mazar	66
3.1.1.1. Variabilidad espacial y temporal del ICA - NSF	66
3.1.2. Subcuenca del río Pindilig	68
3.1.2.1. Variabilidad espacial y temporal del ICA - NSF	68
3.1.3. Comparación del ICA-NSF entre las subcuencas Mazar y Pindilig	70
3.2. VARIACIÓN DEL CAUDAL	71
3.2.1. Correlación entre los caudales medidos y los valores del ICA – NSF	72



3.3. VARIABILIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	76
3.3.1. Subcuenca del río Mazar	76
3.3.1.1. Parámetros físicos	76
3.3.1.2. Parámetros químicos.....	78
3.3.1.3. Parámetros microbiológicos	82
3.3.1.4. Análisis de variación de parámetros durante ocurrencia de derrumbe.	83
3.3.2. Subcuenca del río Pindilig.....	85
3.3.2.1. Parámetros físicos.....	85
3.3.2.2. Parámetros Químicos	87
3.3.2.3. Parámetros microbiológicos	91
3.4. COMPARACIÓN DE LOS MUESTREOS REALIZADOS CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE	92
3.5. CARGAS CONTAMINANTES.....	105
3.5.1. Cargas contaminantes en la subcuenca del río Mazar	105
3.5.2. Cargas contaminantes en la subcuenca del río Pindilig.....	106
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	113

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Subcuencas de la cuenca del río Paute.....	116
Anexo 2: Usos del suelo de las subcuencas Mazar y Pindilig	117
Anexo 3: Formato de Tabla de Excel para cálculo de caudales	118
Anexo 4: Resultados de Laboratorio (27 de Mayo).....	119
Anexo 5: Resultados de Laboratorio (28 de Mayo).....	120
Anexo 6: Resultados de Laboratorio (24 de Junio)	121
Anexo 7: Resultados de Laboratorio (25 de Junio)	122
Anexo 8: Resultados de Laboratorio (23 de Septiembre).....	123
Anexo 9: Resultados de Laboratorio (24 de Septiembre).....	124
Anexo 10: Resultados de Laboratorio (11 de Noviembre)	125
Anexo 11: Resultados de Laboratorio (12 de Noviembre)	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Central Paute Mazar	6
Figura 2: Central Paute Molino	6
Figura 3: Casa de máquinas de la Central Paute Sopladora	7

Figura 4: Mapa de ubicación de la cuenca del río Paute en el Ecuador.....	11
Figura 5: Mapa de la subcuenca del río Mazar	14
Figura 6: Páramo Herbáceo	15
Figura 7: Vegetación cerca de la comunidad de Colepato.....	15
Figura 8: Vegetación en la cabecera parroquial.....	16
Figura 9: Precipitación media mensual de la subcuenca del río Mazar (período 1965-1992).....	16
Figura 10: Caudales medios mensuales del río Mazar (período 1964-2006)	17
Figura 11: Mapa de la subcuenca del río Pindilig	20
Figura 12: Páramo Herbáceo	21
Figura 13: Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Occidentales.....	21
Figura 14: Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales.....	22
Figura 15: Matorral Húmedo Montano de los Andes del Norte y Centro	22
Figura 16: Precipitación media mensual de la subcuenca del río Pindilig (período 1965-1992).....	23
Figura 17: Caudales medios mensuales del río Pindilig (período 1965-1992).....	24
Figura 18: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	32
Figura 19: Río Mazar (cuenca media-época lluviosa).....	33
Figura 20: Río Mazar (cuenca media-época seca).....	33
Figura 21: Río Mazar (cuenca baja-época lluviosa).....	34
Figura 22: Río Mazar (cuenca baja-época seca).....	34
Figura 23: Río Macas (cuenca media-época seca).....	35
Figura 24: Río Dudas (cuenca media-época seca).....	36
Figura 25: Río Pindilig (cuenca baja-época lluviosa).....	36
Figura 26: Río Pindilig (cuenca baja-época seca)	37
Figura 27: Cajas Térmicas	40
Figura 28: Envases.....	41
Figura 29: Fórmula para el cálculo del ICaA - NSF.....	50
Figura 30: Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5.....	52
Figura 31: Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del OD...	53
Figura 32: Valoración de la calidad de agua en función del pH.....	54
Figura 33: Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de la Turbiedad	54
Figura 34: Valoración de la calidad de agua en función de los Fosfatos.....	55
Figura 35: Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos	55
Figura 36: Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de Temperatura	56
Figura 37: Valoración de la calidad de agua en función de los Coliformes Fecales	56
Figura 38: Valoración de la calidad de agua en función de los SDT.....	57
Figura 39: Micromolinete “Hidrological Service”	60
Figura 40: Sitio de aforo del río Mazar-Presa.....	61
Figura 41: Variabilidad espacial del ICaA - NSF – Mazar	66
Figura 42: Variación temporal del ICaA NSF - Mazar (Colepato)	66
Figura 43: Variación temporal del ICaA NSF - Mazar (Colepato	67
Figura 44: Comparación temporal y espacial del INSF - Mazar (Colepato - Presa).....	67
Figura 45: Variabilidad espacial del ICaA NSF – Pindilig	68

Figura 46: Variación temporal NSF – Macas.....	68
Figura 47: Variación temporal NSF – Dudas	69
Figura 48: Variación temporal NSF – Pindilig.....	69
Figura 49: Comparación temporal y espacial NSF Macas – Dudas – Pindilig	70
Figura 50: Comparación temporal y espacial del ICA - NSF entre las subcuencas Mazar y Pindilig.....	70
Figura 51: Variación de los caudales durante las campañas de monitoreo	72
Figura 52: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para Mazar – Colepato.....	73
Figura 53: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para Mazar – Presa.....	73
Figura 54: Correlación entre los caudales medidos y los valores del ICA – NSF para el río Macas.....	74
Figura 55: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para el río Dudas	74
Figura 56: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para el río Pindilig.....	75
Figura 57: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para los 5 puntos de muestreo	75
Figura 58: Variación espacial y temporal de la temperatura	76
Figura 59: Variación espacial y temporal de la turbiedad del río Mazar.....	77
Figura 60: Variación espacial y temporal del pH del río Mazar.....	78
Figura 61: Variación espacial y temporal de fosfatos del río Mazar	79
Figura 62: Variación espacial y temporal de nitratos del río Mazar.....	79
Figura 63: Variación espacial y temporal de SDT del río Mazar	80
Figura 64: Variación espacial y temporal del OD del río Mazar	81
Figura 65: Variación espacial y temporal de la DBO5 del río Mazar	81
Figura 66: Variación espacial y temporal de coliformes fecales en Mazar – Colepato. 82	
Figura 67: Variación espacial y temporal de los coliformes fecales en Mazar – Presa. 82	
Figura 68: Variación de la turbiedad	83
Figura 69: Variación de la DBO5	84
Figura 70: Variación de los SST	84
Figura 71: Variación de los SDT	84
Figura 72: Variación espacial y temporal de la temperatura	85
Figura 73: Variación espacial y temporal de la turbiedad	86
Figura 74: Variación espacial y temporal del pH	87
Figura 75: Variación espacial y temporal de fosfatos.....	88
Figura 76: Variación espacial y temporal de nitratos	88
Figura 77: Variación espacial y temporal de sólidos disueltos totales	89
Figura 78: Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto.....	90
Figura 79: Variación espacial y temporal de la DBO5	90
Figura 80: Variación espacial y temporal de coliformes fecales	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los sitios de muestreo	31
Tabla 2: Frecuencia de muestreo	39
Tabla 3: Equipos utilizados en los monitoreos	42
Tabla 4: Envases utilizados en los monitoreos	43
Tabla 5: Pesos relativos para cada parámetro del “ICA - NSF” de acuerdo a su importancia	51
Tabla 6: Concentraciones de oxígeno disuelto en equilibrio a varias altitudes y temperaturas.....	53
Tabla 7: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF.....	58
Tabla 8: ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig por puntos de muestreo y campañas ..	64
Tabla 9: ICA-NSF por puntos de muestreo y campañas para abastecimiento público..	65
Tabla 10: Caudales medidos de los ríos Mazar y Pindilig por puntos de muestreo y campañas.....	71
Tabla 11: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Mayo	93
Tabla 12: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Junio	94
Tabla 13: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Septiembre	95
Tabla 14: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Noviembre	96
Tabla 15: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Mayo	97
Tabla 16: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Junio.....	98
Tabla 17: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Septiembre	99
Tabla 18: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Noviembre	100
Tabla 19: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Mayo.....	101
Tabla 20: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Junio	102
Tabla 21: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Septiembre.....	103
Tabla 22: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Noviembre	104



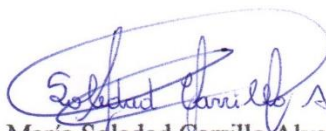
Tabla 23: Carga contaminante aportada por la subcuenca del río Mazar	105
Tabla 24: Carga contaminante aportada por la subcuenca del río Pindilig.....	106



Cláusula de derechos de autor

Yo, María Soledad Carrillo Alvarado, autora de la tesis “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 29 de Enero del 2016



Maria Soledad Carrillo Alvarado

CI: 0103903092



Cláusula de derechos de autor

Yo, Paola Dennisse Urgilés Calle, autora de la tesis “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 29 de Enero del 2016

Paola Dennisse Urgilés Calle

CI: 0105389936



Cláusula de propiedad intelectual

Yo, María Soledad Carrillo Alvarado, autora de la tesis “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de Enero del 2016

María Soledad Carrillo Alvarado

CI: 0103903092



Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Paola Dennisse Urgilés Calle, autora de la tesis “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de Enero del 2016

Paola Dennisse Urgilés Calle

CI: 0105389936



DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a mi familia porque ha sido un pilar fundamental en mi vida, de manera especial a mi papi y mi abuelita (+) quienes lamentablemente hoy no están conmigo para ver cumplido este sueño pero tengo el consuelo de que ellos son mis angelitos, quienes cuidan y guían mi camino y por quienes seré mejor cada día.

Dedico este trabajo a mi mami, pues ha creído siempre en mí, ha sido mi apoyo y un verdadero ejemplo de amor, valentía, respeto, perseverancia y me ha enseñado a enfrentar la vida y salir adelante pese a cualquier adversidad, también lo dedico a mis hermanos Isabel y Omar Fernando porque han estado siempre para mí aconsejándome y brindándome su amor incondicional, a mi novio Christian porque ha sido mi fuerza y gracias a su amor y paciencia he alcanzado mis metas, finalmente dedico este trabajo a mis perritos que son parte de mi familia Princesa, Lady, Kobby y Molly quienes alegran mi vida.

María Soledad Carrillo Alvarado

Recuerdo desde mi niñez hasta el día de hoy, el cariño entregado, las alentadoras palabras, los valiosos consejos, los valores inculcados y el apoyo total de mi familia para cumplir con mis metas planteadas. Razón por la cual el siguiente trabajo va dedicado con mucho cariño y respeto, a mi querida mamita Yoli, mi papito Pablo, mi hermana Karlita, al futuro angelito/a que está por llegar alegrar nuestras vidas, y a mí enamorado Santy. No puedo dejar de lado a los tesoros más preciados que la vida me ha dado, mis abuelitos. Gracias Dios por poner en mi camino a estas valiosas personas, pues de esta manera, sé que siempre has estado presente en mi vida, llenándome de bendiciones y permitiéndome ser feliz siempre a pesar de todas las adversidades. Gracias a todos y gracias madre naturaleza, ustedes han sido la inspiración para llevar a cabo este objetivo más de muchos que faltan por cumplir en mi vida.

Paola Dennisse Urgilés Calle



AGRADECIMIENTOS

Primero queremos agradecer a Dios por brindarnos la fortaleza y sabiduría necesarias para desarrollar el presente trabajo.

Agradecemos al personal de CELEC EP Hidropaute por la apertura para la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Pedro Alvarado y el Lcdo. Juan Amón por la ayuda brindada y facilidades para el desarrollo del mismo. A nuestro amigo y Director, Ing. Fernando García, por la paciencia y empeño dedicado en la realización del presente trabajo.

Gracias Dios por nuestra hermosa amistad durante todos los años de colegio y universidad, que al ser una amistad verdadera nos ha permitido vivir y compartir experiencias que nos han ayudado a ser mejores personas, logrando así llegar juntas a este nuevo escalón de nuestras vidas. Gracias porque a pesar de las adversidades presentadas, aprendimos que siempre hay que sonreír y ser positivas, razón por la cual las actividades realizadas para elaborar el siguiente trabajo, se convirtieron en momentos para disfrutar, compartir y aprender nuevas experiencias.

Finalmente queremos agradecer a todos los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias de la mejor manera para formarnos no solo como exitosos profesionales sino apoyarnos en nuestra formación humana.

Soledad y Paola

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia contar con información de la calidad de los cuerpos de agua para el eficiente aprovechamiento de estos recursos. Una forma de obtener información de la calidad del agua, de manera integrada, es mediante la aplicación de un Índice de Calidad de Agua (ICA). Los ICA son herramientas prácticas que sintetizan la información proporcionada por una gran cantidad de parámetros en una expresión sencilla, para generar un valor numérico que permita evaluar la calidad del agua de un sistema.

Se han realizado diversos estudios basados en la determinación del índice de calidad de agua, mediante la aplicación de distintas metodologías; entre ellas se menciona el ICA de Dinius (1972), conformado por diez variables fisicoquímicas y dos microbiológicas, cuya clasificación considera cinco usos del recurso: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación. El Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica, que está constituido por ocho variables fisicoquímicas y una microbiológica enfocado para aguas de consumo humano (Ott. W, 1981). El ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua conformado por dieciocho parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, considera nueve usos dentro de los cuales se destaca el abastecimiento público. De acuerdo a la revisión bibliográfica efectuada sobre indicadores de calidad y contaminación por Simboni Ruiz et al. (2007), se destaca que el ICA-NSF a pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos es ampliamente usado a nivel mundial para evaluar la calidad de un cuerpo de agua superficial para consumo humano y ha sido validado y adaptado en diferentes estudios, como es el caso del ICAUCA (Índice de Calidad del Agua del Río Cauca) desarrollado por el Departamento del Valle del Cauca en Colombia, en el cual se adaptó el ICA-NSF a las condiciones específicas del río, enfocando su uso para consumo humano.

Los trabajos de mayor importancia mundial se deben al ICA-NSF, los cuales indican que es confiable; incluye varios parámetros de calidad del agua que usualmente se estudian, y al ser muy utilizado facilita, aunque sea de manera parcial, futuras comparaciones con otros estudios, permitiendo cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general y no a contaminantes específicos. Así mismo respecto a otros índices representa un ahorro de recursos materiales y económicos, al tener menor número de parámetros utilizados.



La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP – Unidad de Negocio HIDROPAUTE, tiene el objetivo de monitorear la calidad de agua del sistema de generación eléctrica “Paute Integral”, como una estrategia básica para un manejo sustentable de los recursos hídricos. Dentro de este contexto, se estudió la calidad de los principales cuerpos afluentes del río Paute, es así que la empresa decidió monitorear la calidad del agua de los ríos Mazar y Pindilig, permitiendo dar cumplimiento a sus objetivos de conservación del recurso hídrico y realizando una identificación de la situación actual de dichas cuencas.

Es así que en el presente trabajo se evaluó la calidad actual del agua de los ríos Mazar y Pindilig, aplicando la metodología del modelo de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF), el cual se basa en 9 parámetros los cuales son: temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales y coliformes fecales.

Se realizaron cuatro campañas de monitoreo durante un período representativo (Mayo - Noviembre 2015) para cada río, tratando de abarcar los meses representativos de la época veraniega e invernal. Los resultados obtenidos fueron analizados, permitiendo identificar y evaluar el diagnóstico actual de estos ríos y sus principales fuentes de contaminación. Mediante la información obtenida se establecieron mecanismos de prevención y control para la administración adecuada del recurso hídrico, entregando a la empresa CELEC EP – HIDROPAUTE una herramienta útil para la gestión en el proceso de toma de decisiones, así como para el desarrollo de futuros proyectos.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el Índice de calidad de agua (ICA-NSF) de los ríos Mazar y Pindilig, muestreados durante el período Mayo-Noviembre 2015.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un plan de muestreo de acuerdo a las normas INEN 226:2000.
- Calcular el índice de calidad de agua (ICA-NSF) de los ríos Mazar y Pindilig.
- Determinar la contaminación fisicoquímica y microbiológica de los ríos monitoreados.
- Interpretar los parámetros muestreados, comparándola con la normativa ambiental vigente.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE

- 1.1.1. Unidad de Negocio HIDROPAUTE
- 1.1.2. Plan Estratégico Integral
- 1.1.3. Sociedad y Ambiente

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE

- 1.2.1. Ubicación y superficie
- 1.2.2. División en subcuencas
- 1.2.3. Estado actual de la cuenca del río Paute
- 1.2.4. Importancia de la conservación de la cuenca del río Paute

1.3. SUBCUENCAS DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG

- 1.3.1. Subcuenca del río Mazar
 - 1.3.1.1. Características Generales
 - 1.3.1.2. Caudales del río Mazar
 - 1.3.1.3. Calidad del agua
 - 1.3.1.4. Usos del suelo
- 1.3.2. Subcuenca del río Pindilig
 - 1.3.2.1. Características Generales
 - 1.3.2.2. Caudales del río Pindilig
 - 1.3.2.3. Calidad del agua
 - 1.3.2.4. Usos del suelo
- 1.3.3. Marco legal del agua

1.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

- 1.4.1. Características de los índices de calidad de agua
- 1.4.2. Usos de los índices
- 1.4.3. Índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF)
 - 1.4.3.1. Antecedentes sobre el ICA -NSF
 - 1.4.3.2. Características del ICA - NSF

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE

1.1.1. Unidad de Negocio HIDROPAUTE

El área administrativa de la Unidad de Negocio HIDROPAUTE se encuentra ubicada en la vía Panamericana Norte Km. 7, sector Capulispamba, en la ciudad de Cuenca - Ecuador, mientras que el área operativa se encuentra en los campamentos Arenales y Guarumales, ubicados en el cantón Sevilla de Oro.

La Unidad de Negocio HIDROPAUTE, perteneciente a la Empresa Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, es la encargada de la construcción, operación, mantenimiento y administración del Complejo Hidroeléctrico Paute Integral y posteriormente del desarrollo del Complejo Hidroeléctrico del río Zamora.

El Proyecto Paute Integral, se desarrolla en las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago, conformado por Mazar, Molino, Sopladora y Cardenillo, ubicadas estratégicamente en cascada para el aprovechamiento del agua de la cuenca del río Paute, para generar energía limpia y así contribuir al cambio de la matriz energética del Ecuador.

A la fecha las centrales Mazar y Molino se encuentran en operación, Sopladora está en la etapa final de construcción y Cardenillo cuenta con estudios definitivos para la licitación de la construcción, constituyendo el escalón final del desarrollo integral de la cuenca media del río Paute (CELEC EP, 2015).

➤ **Central Paute Mazar**

La Central Paute Mazar inició su operación en el año 2010 y se encuentra ubicada en las inmediaciones de la desembocadura del río Mazar. Constituida por una presa de enrocado con pantalla de hormigón que forma un embalse de 410'000.000 de m³ de agua. La potencia instalada es de 170 MW con un aporte de 800 GWh/año al Sistema Nacional Interconectado (SIN), a través de dos unidades de generación con turbinas tipo Francis.

Tiene una gran importancia debido a que su gran embalse permite una mayor regulación del caudal del río Paute, incrementa la energía firme en la central Molino, y además, retiene los sedimentos que son arrastrados por el río, contribuyendo así a la continuidad operativa del embalse Amaluza - Central Molino.



Figura 1: Central Paute Mazar
Fuente: (Díaz, 2015)

➤ **Central Paute Molino**

La Central Paute Molino, se encuentra aguas abajo de la Central Mazar, fue construida en dos etapas, la primera “Fase AB” inició en 1983 y la “Fase C” en 1991. Constituida por la presa Daniel Palacios, que es de tipo arco gravedad con una altura de 170 m; forma un embalse de 120’000.000 de m³ de agua. La potencia instalada es de 1100 MW con una producción anual de 4 900 GWh, a través de diez unidades de generación con turbinas tipo Pelton.



Figura 2: Central Paute Molino
Fuente: (Díaz, 2015)

➤ **Central Paute Sopladora**

La Central Subterránea Paute Sopladora, se encuentra aguas abajo de la central Molino, ubicada en la margen derecha del río Paute. Captará los caudales turbinados de hasta 150 m³/s directamente de los dos túneles de descarga de la central Molino y los conducirá hasta casa de máquinas subterránea a través de un túnel de carga de 4.7 km de longitud y una tubería de presión de 338 m. La potencia de la Central será de 487 MW y generará anualmente 2 700 GWh, a través de 3 unidades con turbinas tipo Francis.



Figura 3: Casa de máquinas de la Central Paute Sopladora
Fuente: (Autores, 2015)

➤ **Central Paute Cardenillo**

La Central Paute Cardenillo se desarrollará directamente aguas abajo de la central Sopladora y aprovechará el caudal turbinado de la misma, más el de la cuenca intermedia, aprovechando 180 m³/s. Contará con una potencia de 593 MW que generarán 3 300 GWh/año a través de seis turbinas tipo Pelton.

Actualmente, cuenta con estudios y diseños definitivos para la licitación de la construcción del mismo, correspondiendo a la cuarta y última etapa del Complejo Paute Integral (CELEC EP, 2015).

1.1.2. Plan Estratégico

La gestión de la Unidad de Negocio HIDROPAUTE está enmarcada en la Planificación Estratégica de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, que a su vez está alineada con el Plan Nacional de Desarrollo 2009-2013 del Ecuador.

Misión

“Generamos bienestar y desarrollo nacional, asegurando la provisión de energía eléctrica a todo el país, con altos estándares de calidad y eficiencia, con el aporte de su talento humano comprometido y competente, actuando responsablemente con la comunidad y el ambiente.”

Visión

“Ser la Empresa pública líder que garantiza la soberanía eléctrica e impulsa el desarrollo del Ecuador” (CELEC EP, 2015).

1.1.3. Sociedad y Ambiente

Desarrollo Socio Ambiental

La Unidad de Negocio HIDROPAUTE trabaja con un modelo de gestión que le permite impulsar procesos productivos comunitarios y mejorar la infraestructura de los servicios básicos de las comunidades vecinas a las centrales y proyectos, estableciendo de esta manera una sólida alianza ente HIDROPAUTE y los actores sociales locales. A su vez dichas acciones, que se encuentran contempladas en los planes de manejo ambiental, mejoran tanto la economía local comunitaria como la calidad de vida de los habitantes.

Subcuenca del río Paute

El enfoque de CELEC EP - HIDROPAUTE en la gestión de la cuenca hidrográfica, abarca cuatro actividades principales que son las siguientes:

- Revegetación de la Cuenca.
- Gestión Integral de desechos en cuerpos de agua.
- Monitoreo de agua, componente biótico y suelo.

- Conservación y apoyo a manejo de áreas sensibles y protegidas.

Revegetación de la Cuenca.-

CELEC EP – HIDROPAUTE realiza actividades para compensación forestal, cuyos objetivos son:

- Recuperar y conservar la vegetación nativa.
- Motivar a la comunidad a conservar y enriquecer sus matorrales con especies nativas propias del medio.
- Fomentar el uso de especies nativas, trabajos de conservación de suelos y protección de fuentes hídricas.

Gestión Integral de desechos en cuerpos de agua.-

CELEC EP - HIDROPAUTE realiza actividades para retirar la basura flotante y eliminar la vegetación acuática (lechuguín) del embalse Mazar, con el objetivo de evitar la generación de malos olores, contaminación del aire, agua y problemas de salud que podría ocasionar la proliferación de vectores.

Monitoreo de agua, componente biótico y suelo.-

CELEC EP - HIDROPAUTE, realiza periódicamente el monitoreo de agua, suelo y componente biótico en el Área de Influencia Directa (AID) de las centrales hidroeléctricas, de acuerdo con las normas establecidas en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1B, sobre la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en Centrales Hidroeléctricas, y también en los planes de Manejo Ambiental de las centrales Mazar y Molino.

Los sitios de importancia que son monitoreados son los siguientes:

- Monitoreo de plantas de agua potable de los campamentos.
- Monitoreo de plantas de tratamiento de aguas residuales de campamentos.
- Monitoreo de descargas a cuerpos de Agua en instalaciones de CELEC EP - HIDROPAUTE.

- Monitoreo de suelos potencialmente afectados por actividades de CELEC EP HIDROPAUTE.
- *Monitoreo en ríos y quebradas del área de influencia directa del Complejo Paute Integral.*
- Monitoreo de agua turbinada de las centrales.

Calidad ambiental

El proceso de Calidad Ambiental, en toda actividad desplegada por la Unidad de Negocio HIDROPAUTE, pretende prevenir y minimizar la contaminación, manteniendo los niveles óptimos de calidad del agua, del aire y del suelo, exigidos por las normas, disposiciones legales y compromisos suscritos, a través de monitoreos de control, auditorías internas y externas, programas preventivos de inspecciones, entre otros (CELEC EP, 2015).

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE

1.2.1. Ubicación y superficie

La cuenca hidrográfica del río Paute se localiza en la región austral del Ecuador y forma parte de la cuenca del Santiago - Namangoza. Se ubica entre las Cordilleras Oriental (límite este) y Occidental de los Andes (límite oeste) (Ver Figura 4). Su superficie, es aproximadamente de 6 439 km², correspondiendo al 2.5% con relación al territorio nacional.

Política y administrativamente forma parte de la provincia del Azuay en un 57%, localizándose en los cantones: Cuenca, Paute, Guachapala, El Pan, Sevilla de Oro, Gualaceo, Chordeleg, Sigsig, entre otros; en la provincia del Cañar forma parte en un 24%, localizándose en Azogues, Biblián y Deleg, y el 19% restante pertenece a la provincia de Morona Santiago. (Cordero, 2013)

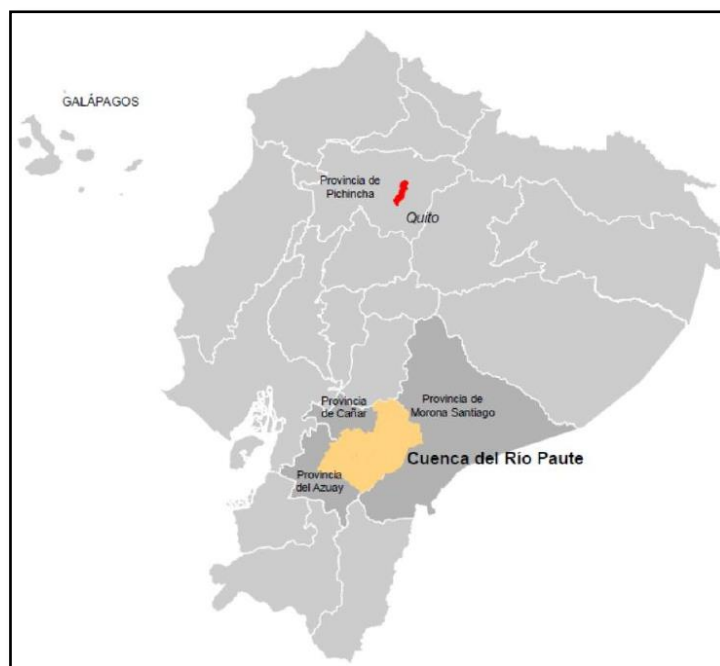


Figura 4: Mapa de ubicación de la cuenca del río Paute en el Ecuador
Fuente: (Cordero, 2013)

1.2.2. División en subcuencas

El río Paute a lo largo de su trayecto tiene contacto con una serie de afluentes, los mismos que conforman subcuencas específicas. Una cuenca está conformada por tres porciones fundamentales llamadas cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, y dentro de cada una de estas existen una serie de subcuencas menores, las cuales llevan el nombre del río correspondiente.

El Río Paute nace en la cordillera Occidental en los páramos de El Cajas y Soldados. Su curso alto lo constituyen las microcuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba, Tarqui, Machángara, los cuales se unen casi simultáneamente en plena área urbana de la ciudad de Cuenca conjuntamente con el río Sidcay. La cuenca media recibe como afluentes a los ríos Burgay, Jadán, Santa Bárbara y un aporte directo de la cuenca, para finalmente en la parte baja complementar su caudal hasta el sitio del embalse Amaluza, con el aporte de los ríos Magdalena, Collay, Río Negro, *Pindilig*, *Mazar*, Pulpito, Juval, Paute Bajo y otros ríos y arroyos de menor importancia (Ver Anexo 1).

Desde el sitio de la presa, el río Paute sigue su curso hacia el Oriente, hasta que se une con el río Upano y toma el nombre de Namangoza, el cual al unirse con el Río Zamora forma el río Santiago (Cordero, 2013).

1.2.3. Estado actual de la cuenca del río Paute

Entre los principales problemas podemos nombrar:

- Procesos de inestabilidad de terrenos
- Falta de ordenamiento de usos de suelo
- Procesos erosivos
- Contaminación del agua
- Bajos rendimientos productivos agropecuarios
- Degradación paisajística
- Transformación y destrucción de páramos
- Contaminación de fuentes de captación de agua
- Incremento de la vivienda dispersa

1.2.4. Importancia de conservación de la cuenca del río Paute

El río Paute, es sin duda alguna, una de las cuencas más importantes del país, debido a que es el sitio de captación de caudales de dieciocho subcuencas al principal complejo de generación hidroeléctrica del Ecuador, con una contribución actual del 35% de la energía eléctrica para el Ecuador.

Por su posición geográfica, contiene áreas protegidas y ecosistemas únicos. Cabe destacar la presencia del Parque Nacional “El Cajas” ubicado al occidente de la cuenca y el Parque Nacional Sangay en la zona nororiental (FONAPA, 2015).

1.3. SUBCUENCAS DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG

Los ríos Mazar y Pindilig pertenecen a las redes hidrográficas más importantes de la provincia del Cañar.

Se encuentran ubicados dentro del área de influencia directa del Proyecto Hidroeléctrico Paute Mazar, razón por la cual es de interés su protección y manejo, ya que conjuntamente con las subcuencas de Juval y Pulpito, aportan con aproximadamente el 30 % del agua que ingresa al embalse de la central Paute en operación.

1.3.1. Subcuenca del río Mazar

1.3.1.1. Características Generales

El río Mazar nace en la confluencia de la quebrada Soropamba y otros arroyos, tiene una longitud aproximada de 9.4 km. Forma la subcuenca del río Mazar, localizada en la parte occidental de la cuenca del Paute con una superficie de 16 577.5 ha. Constituye una de las subcuencas tributarias más importantes del río Paute en la cuenca baja y de la central Hidroeléctrica Molino.

Más del 65% de esta subcuenca se encuentra dentro de las áreas protegidas: Parque Nacional Sangay y Bosque Protector Dudas - Mazar. Hacia el río Mazar confluyen las aguas del río Palcayacu y de las quebradas: Cachuco, Cuesta Azul, Huhualpamba, y otros pequeños arroyos.

La subcuenca del río Mazar abarca 179.4 ha (1.1%) de la parroquia Ingapirca; 51.4 ha (0.3%) de la parroquia Pindilig; y en su mayor parte 16 280.9 ha (98.2%) del territorio de la parroquia Rivera, dentro de la cual se encuentran las comunidades de San Vicente, Zhudun, San Antonio, Colepato, Mazar, entre otras, como áreas de influencia directa. (IERSE, 2005)



Figura 5: Mapa de la subcuenca del río Mazar
Elaborado por: (Autores, 2015)

1.3.1.2. Formaciones Vegetales

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rivera (2015) la subcuenca del río Mazar abarca las siguientes formaciones vegetales: Páramo Herbáceo, Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales y Matorral Húmedo Montano del Norte y Centro.

Páramo Herbáceo.- Esta zona se encuentra desde los 3200 hasta los 4000 msnm, en su límite inferior, se encuentra frecuentemente campos cultivados donde el bosque andino ha sido fragmentado. Principalmente se localiza en las partes altas de la subcuencas de Mazar y Juval.



Figura 6: Páramo Herbáceo
Fuente: (Consortio Argudo & Calle, 2015)

Bosque Siempre - Verde Montano Alto de los Andes Orientales.- Esta formación se extiende desde los 2800 hasta 3100 msnm. Se observan bosques de este tipo de vegetación en las colinas con pendientes moderadas, en sus bordes se encuentran combinadas con pastos y cultivos de maíz y hortalizas.



Figura 7: Vegetación cerca de la comunidad de Colepato
Fuente: (Consortio Argudo & Calle, 2015)

Matorral Húmedo Montano de los Andes del Norte y Centro.- Se encuentra desde los 2000 hasta los 3000 msnm, se puede observar que su cobertura vegetal está fuertemente alterada y ha sido reemplazada por especies como *Eucaliptus globulus*, pastizales y cultivos. Presenta un mosaico de cultivos, pastizales, chaparros y viviendas dispersas.



Figura 8: Vegetación en la cabecera parroquial
Fuente: (Consortio Argudo & Calle, 2015)

1.3.1.3. Climatología

De acuerdo al Plan Maestro de la cuenca del río Paute (2009) los valores de precipitación referenciales comprendidos entre el período 1965-1992, registran en la subcuenca de Mazar una precipitación media anual de 1 318 mm, con los valores máximos en los meses de Mayo, Junio y Julio, y los valores mínimos en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, como se observa en la Figura 9.

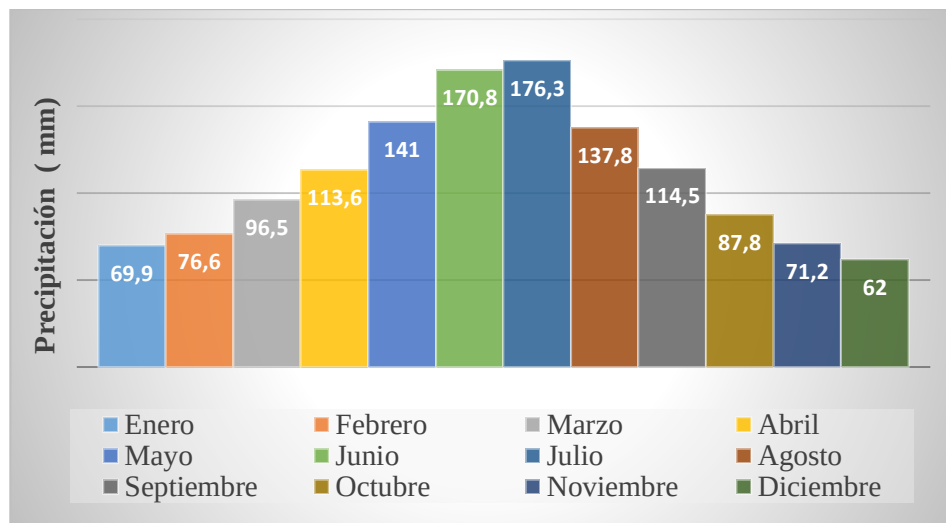


Figura 9: Precipitación media mensual de la subcuenca del río Mazar (período 1965-1992)
Elaborado por: (Autores, 2015)

Con respecto al clima, se puede ubicar dos categorías: un clima ecuatorial frío de alta montaña para la cuenca alta y un clima ecuatorial semi-húmedo a húmedo para la cuenca baja.

Analizando la temperatura existen tres rangos que van de 6 a 10 °C, correspondiendo a la cuenca alta del Mazar (Parque Nacional Sangay y el Bosque protector Dudas Mazar) donde confluyen los vientos y la humedad proveniente de la Amazonía; de 10 a 12 °C, corresponde a la cuenca media, con un clima templado-frío y un rango de 12 a 16 °C, correspondiendo a la zona baja (cercana a la represa Mazar), registrando un clima más templado debido a su altura y a la influencia del espejo de agua formado con el embalse de la represa (GHI e Iberinsa-Caminosca y Canales C.Ltda. , 2009).

1.3.1.4. Caudales

De acuerdo a los valores consultados en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Dudas Mazar, aprovechamiento San Antonio, se ha elaborado la Figura 10, la cual nos indica los caudales medios mensuales del río Mazar durante el periodo 1964 -2006. Se registra un valor máximo en el mes de Julio con 6.58 m³/s y un mínimo el mes de Diciembre con 2.96 m³/s. (ASTEC, 2011).

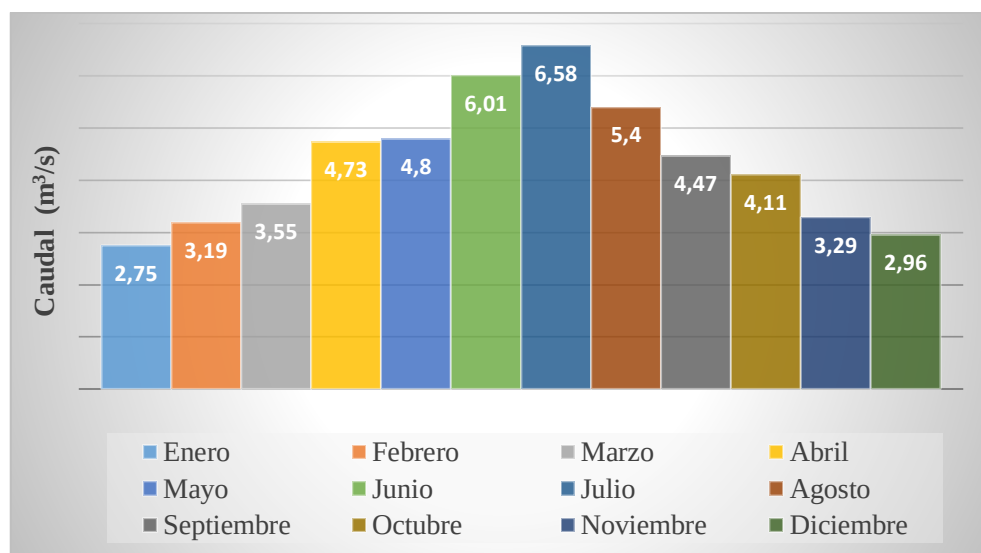


Figura 10: Caudales medios mensuales del río Mazar (período 1964-2006)
Elaborado por: (Autores, 2015)

1.3.1.5. Calidad del agua

Las causas principales de la contaminación de las aguas del río Mazar, se deben a las descargas de efluentes y presencia de desechos sólidos en cauces de quebradas, mismos que tienen como destino final aguas abajo de la represa, alterando su calidad. De acuerdo al estudio de impacto ambiental del proyecto Dudas Mazar, aprovechamiento San Antonio (2011), mediante la aplicación del índice de calidad del agua de la NSF, se determinó que las aguas del río Mazar (en el tramo de captación y descarga de aguas turbinadas) presentan condiciones entre buena a regular.

“Buena” significa que existe diversidad de organismos acuáticos, pudiendo existir cualquier forma de contacto directo con esta, aunque para consumo humano requeriría una purificación menor. “Regular” significa que la diversidad de organismos acuáticos ha disminuido, incrementándose el crecimiento de algas, se refiere a una agua contaminada por diversos agentes, para consumo humano necesita de tratamiento potabilizador aunque es utilizable en la mayoría de los cultivos (ASTECH, 2011).

1.3.1.6. Usos del Suelo

Para la determinación del uso de suelo, se ha empleado la información que consta en la cartografía base suministrada por la SEMPLADES (2015).

En la parte alta de la subcuenca existen formaciones vegetales con tierras de páramo, tierras con bosques arbustivos, tierras con bosques arbóreos y en menor proporción tierras con pastos cultivados en buenas condiciones.

En la parte media y baja donde existe una mayor cantidad de asentamientos humanos, se observa en mayor proporción tierras con cultivos predominantes de maíz con fréjol y cultivos andinos con hortalizas; pastos cultivados en buenas condiciones cuyos bordes presentan pastizales que se utilizan para pastoreo de ganado y en menor proporción bosques arbóreos y arbustivos, debido a que han sido intervenidos con vegetación exótica y pastos (Ver Anexo 2).

1.3.2. Subcuenca del río Pindilig

1.3.2.1. Características Generales

El río Pindilig está formado por la confluencia de los ríos Macas y Dudas. Tiene una longitud aproximada de 7.05 km, y se localiza en la parte occidental de la cuenca del Paute, formando la subcuenca del río Pindilig con una superficie de 16 826. 9 ha. Constituye una de las subcuencas tributarias más importantes aguas arriba de la presa Mazar.

El río Macas tiene una longitud aproximada de 3.7 km, en el cual confluyen las aguas de las quebradas: Gulag, Susuncay, Chalacay y otros arroyos; en tanto que el río Dudas cuenta con una longitud de 4.07 km, recibiendo las aguas de las quebradas: Rumiloma, Santa Elena, Joaquín y otros arroyos, y a su vez el río Pindilig recibe como afluentes la aguas de las quebradas Sircay, Tampanchi, entre otras.

La subcuenca del río Pindilig abarca las siguientes parroquias: 11 ha (0.1%) en Azogues; 3.4 ha (0%) en Bulan; 12 ha (0.1%) en Dug Dug; 236.9 ha (1.4%) en Guarainac; 57.4 ha (0.3) en la parroquia Honorato Vásquez; 349.4 ha (2.1%) en Ingapirca; 127.8 ha (0.8%) en Rivera; 5764 (34.3%) en Taday; 8.9 ha (0.1%) en Tomebamba y en su mayor parte 10256 ha (61%) del territorio de la parroquia Pindilig, dentro de la cual se encuentran las comunidades de Qeseras, Zhall, San Pedro, Violan, La Dolorosa, Calvario, Dudas, Zhoray, entre otros, como áreas de influencia directa (IERSE, 2005).

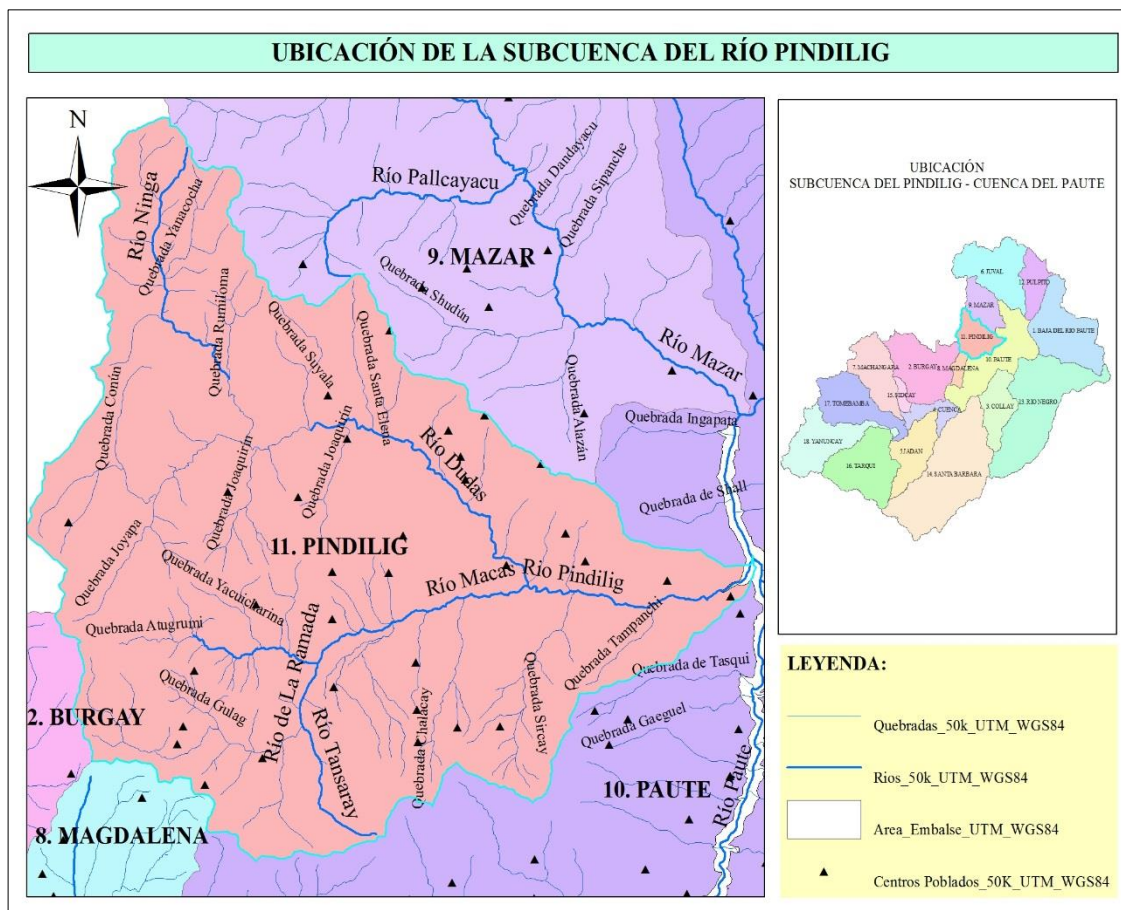


Figura 11: Mapa de la subcuenca del río Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

1.3.2.2. Formaciones Vegetales

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Pindilig (2013) la subcuenca del río Pindilig abarca las siguientes formaciones vegetales: Páramo Herbáceo, Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Occidentales, Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales y Matorral Húmedo Montano del Norte y Centro.

Páramo Herbáceo.- Esta zona se encuentra desde los 3200 hasta los 4000 msnm. En su límite inferior, se encuentra frecuentemente campos cultivados donde el bosque andino ha sido fragmentado. Principalmente se localiza en las partes altas de la subcuencas de Mazar y Juval.



Figura 12: Páramo Herbáceo
Fuente: (Ortega, 2013)

Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Occidentales.- Se extienden desde los 3.000 hasta los 3.400 msnm. Se observa vegetación de transición entre los bosques montano altos y el páramo. En la parroquia se encuentra localizado en los sectores de Chanchán, Gulag y Queseras. Este tipo de formaciones sufren por la presión que generan los pobladores de la zona (pastizales y cultivos).



Figura 13: Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Occidentales
Fuente: (Ortega, 2013)

Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales.- Esta formación se extiende desde los 2800 hasta 3100 msnm. Se observan bosques de este tipo de vegetación en las colinas con pendientes moderadas, en sus bordes se encuentran combinadas con pastos y cultivos de maíz, papas y otros.



Figura 14: Bosque Siempre-Verde Montano Alto de los Andes Orientales
Fuente: (Ortega, 2013)

Matorral Húmedo Montano de los Andes del Norte y Centro.- Se encuentra desde los 2000 hasta los 3000 msnm, se puede observar que cobertura vegetal está fuertemente alterada y ha sido reemplazada por especies como *Eucaliptus globulus*, pastizales y cultivos. Presenta un mosaico de cultivos, pastizales, chaparros y viviendas dispersas.



Figura 15: Matorral Húmedo Montano de los Andes del Norte y Centro
Fuente: (Ortega, 2013)

1.3.2.3. Climatología

De acuerdo al Plan Maestro de la cuenca del río Paute (2009) los valores de precipitación referenciales comprendidos entre el periodo 1965-1992, registran en la subcuenca de Pindilig una precipitación media anual de 1 127.3 mm, registrando el pico máximo en el mes de Julio con 150.8 mm y un mínimo en el mes de Diciembre con 53 mm de precipitación, como se observa en la Figura 16.

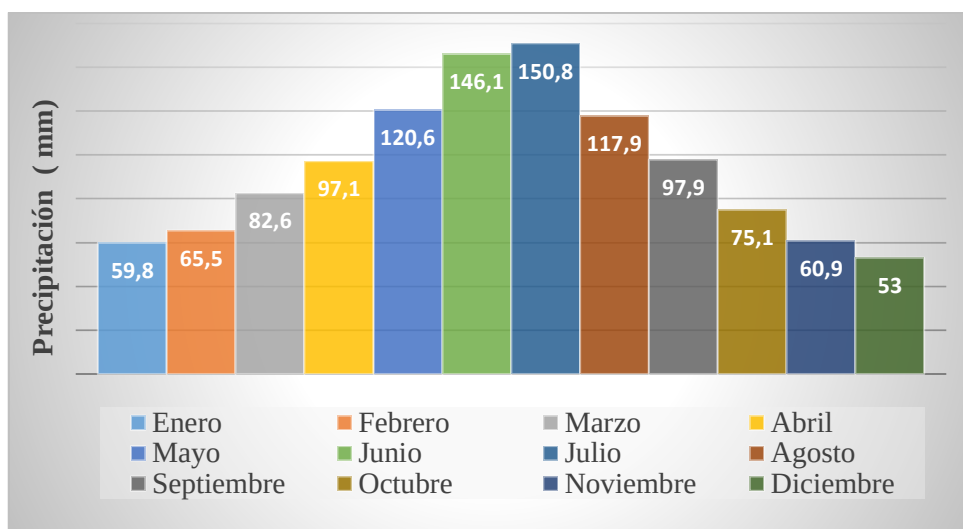


Figura 16: Precipitación media mensual de la subcuenca del río Pindilig (período 1965-1992)
Elaborado por: (Autores, 2015)

Analizando el clima, se puede ubicar dos categorías: un clima ecuatorial frío de alta montaña para la cuenca alta y un clima ecuatorial semi-húmedo a húmedo para la cuenca baja.

Con respecto a la temperatura existen tres rangos que van de 8 a 10 °C, correspondiendo a la cuenca alta del Mazar (Parque Nacional Sangay y el Bosque protector Dudas Mazar) donde confluyen los vientos y la humedad proveniente de la Amazonía; de 10 a 12 °C, corresponde a la cuenca media, con un clima templado-frío y un rango de 12 a 14 °C, correspondiendo a la zona baja (cercana a la represa Mazar), registrando un clima más templado debido a su altura y a la influencia del espejo de agua formado con el embalse de la represa (Ortega, 2013).

1.3.2.4. Caudales

De acuerdo al Plan Maestro de la cuenca del río Paute (2009), se ha elaborado la Figura 17, la cual indica el régimen de caudal del río Pindilig (período 1965-1992) de acuerdo a la estación hidrométrica Dudas en el río Pindilig, pudiéndose observar el pico más alto en el mes de Junio con 9.9 m³/s y el valor más bajo registrado en el mes de Enero con 2.9 m³/s.

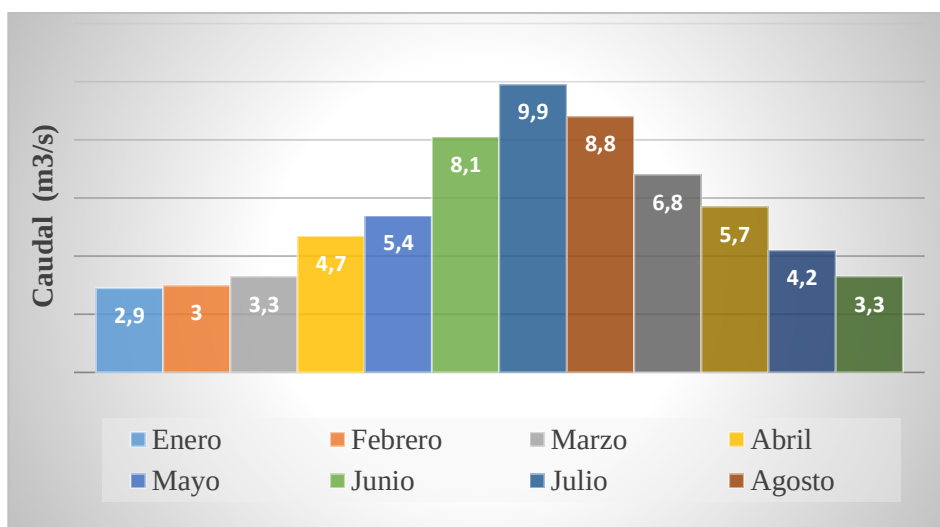


Figura 17: Caudales medios mensuales del río Pindilig (período 1965-1992)
Fuente: (Autores, 2015)

1.3.2.5. Calidad del agua

Se recurrió al estudio desarrollado por HIDROPAUTE (2006), en el cual se utilizó el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), cuyo muestreo fue realizado en 8 estaciones que confluyen a la presa Mazar, en donde se encuentra el río Pindilig que drena las aguas de gran parte de la parroquia, se determinó que el agua del río se encuentran entre la clase 2 y 1, con algunos efectos de contaminación.

De acuerdo a este estudio, el agua del río Pindilig es de buena calidad, pero no se deben omitir las continuas alteraciones que sufre el recurso como producto de las actividades agro productivas que se realizan, además, de la contaminación de quebradas con basura y descargas de aguas residuales domésticas (Ortega, 2013).

Complementariamente se recurrió al estudio del proyecto Dudas Mazar, aprovechamiento Dudas (2010), en el cual se aplicó el índice de calidad de agua ICA- NSF, con el objeto de encontrar una medida de la calidad del agua que sirva para comparar los resultados de monitoreos futuros; obteniendo como resultados que las aguas del río Pindilig (en el sitio de captación) presentan una calidad “regular” que significa que existe menor diversidad de organismos acuáticos, y ha aumentado el crecimiento de las algas, lo cual se refiere a una agua contaminada por diversos agentes y que para consumo humano necesita de tratamiento potabilizador, aunque es utilizable en la mayoría de los cultivos (ASTEC, 2011).

1.3.2.6. Usos del suelo

Para la determinación del uso de suelo se ha empleado la información que consta en la cartografía base suministrada por la SENPLADES (2015).

Se observa que en la parte alta y media la subcuenca de Pindilig (microcuencas Dudas y Macas) existen tierras con cultivos predominantes de maíz con fréjol, habas, papas y cultivos andinos con hortaliza, y en menor proporción bosques arbóreos y arbustivos.

En la parte baja de la subcuenca se observa en gran proporción que las tierras han sido cultivadas con pasto, existiendo procesos degradativos y presencia de afloramientos rocosos (Ver Anexo 2).

1.3.3. Marco legal del agua

La constitución del Ecuador del 2008, garantiza sin discriminación alguna el goce del agua para sus habitantes. “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico, de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, planificación y gestión de los recursos hídricos: consumo humano, soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas.”

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, que se encuentra en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional que determina lo siguiente:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (MAE, 2015)

1.4. INDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Un índice de calidad de agua, hace referencia a una expresión simple de una combinación de diferentes parámetros, los cuales sirven para determinar la calidad de un cuerpo de agua, siendo este una herramienta para transmitir dicha información. El índice puede ser representado por un número, un rango, un símbolo o un color y cuya ventaja radica, en que la información puede ser fácilmente interpretada. (Fernandez Parada & Solano Ortega, 2005)

1.4.1. Características de los índices en general

- Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos.
- Pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.
- Son entendibles al público, los medios y los usuarios.
- Representan una parte o un aspecto particular del problema.
- Deben ser interpretados con precaución, en forma crítica y ser actualizados periódicamente.

Un Índice de calidad de agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua en una determinada fecha de muestreo y se expresa como porcentaje del agua pura; siendo así que, un agua altamente contaminada presenta un ICA cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un índice cercano a 100% (Torres , Patricia ; Hernán, Camilo; Patiño, Paola Janeth, 2009)

1.4.2. Usos de los índices

Los índices pueden ser usados para generar, mejorar o actualizar la información de la calidad de un cuerpo de agua. Los posibles usos de los índices son:

- Manejo del recurso.- Proveen información a personas o entidades que toman decisiones sobre las prioridades del recurso hídrico.
- Clasificación de Áreas.- Los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.

- Aplicación de normatividad.- Permiten determinar el cumplimiento con la normatividad y políticas ambientales.
- Análisis de la tendencia.- Demuestran si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando en un periodo de tiempo.
- Información pública.- Permiten realizar actividades de concientización y educación ambiental.
- Investigación Científica.- Los datos pueden ser analizados fácilmente proporcionando una visión de los fenómenos medioambientales (Ott. W, 1981).

1.4.3. Índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento los Estados Unidos de Norteamérica (ICA - NSF)

1.4.3.1. Antecedentes sobre el índice de calidad de agua de la NSF

Los intentos por crear un índice que permita evaluar la calidad del agua, tienen bastante historia. Varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes metodologías para clasificar la calidad de las aguas.

Entre estas metodologías existen los índices que usan valores numéricos para expresar la degradación del agua, como el índice de Horton de 1965, cuyo objetivo era disponer de un instrumento que permita evaluar de la manera más objetiva posible, teniendo la limitación de que al combinar los parámetros de las distintas variables de calidad escogidas, se presenta la subjetividad en la determinación de los pesos que ponderen su importancia relativa. (Behar, Zúniga, & Rojas, 1997)

Es así que en 1970, Brow, MacClelland, Deininger y Tozer, apoyados por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (NSF, por sus siglas en inglés) propusieron un índice basado en la estructura del índice de Horton, conocido como Índice de Calidad de Agua de la NSF (ICA-NSF).

Dicho índice fue desarrollado mediante el método Delphi, con el objetivo de disminuir los juicios subjetivos. El método consistió en combinar la opinión de un conjunto de 142 expertos en gestión de la calidad del agua de varios lugares de los Estados Unidos a través de tres estudios.

En el primer estudio se consideraron 35 variables de contaminación para su posible inclusión en el ica, estos fueron calificados en una escala de 1 (significancia más alta) a 5 (significancia más baja) en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser “incluido”, “indeciso” o “no incluido”.

En el segundo estudio se determinó que nueve de las 35 variables fueron identificadas de mayor importancia: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Variación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Disueltos Totales.

Finalmente, en el tercer estudio, se elaboraron las Curvas de Función, para cada variable en un rango de 0 a 100 indicados en el eje y de cada gráfico, mientras que en el x fueron localizados los diferentes niveles de las variables. Luego se promediaron todas las curvas para generar una sola línea para cada variable (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

1.4.3.2. Características del ICA-NSF

De acuerdo a la información bibliográfica sobre indicadores de calidad y contaminación efectuada por Simboni Ruiz se resalta que el ICA - NSF es el índice más empleado en la valoración de la calidad de las aguas superficiales para consumo humano a nivel mundial. Siendo importante considerar que el índice se puede modificar y adaptar de acuerdo a las condiciones prevalecientes en cada sistema acuático en particular. (González Meléndez, Caicedo Quintero, & Aguirre Ramirez, 2013)

Las variables que utiliza el índice de calidad de la NSF en el aspecto fisicoquímico son: temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, turbiedad, pH, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos totales y en el aspecto microbiológico son los coliformes fecales. Cada una de estas variables tiene un peso específico de acuerdo con su importancia, relacionada con la calidad del agua.



La ventaja de la utilización de métodos fisicoquímicos radica en que el análisis de estos parámetros suele ser más rápido, brindando información extensa de la naturaleza del agua y sus propiedades, y además pueden ser monitoreados con mayor frecuencia.

La importancia del análisis microbiológico se debe a que la transmisión de estos factores es habitualmente a través del agua y están abundantemente distribuidos en la naturaleza, razón por la cual se puede decir que todas las aguas naturales contienen una variedad de estos microorganismos e influyen de forma directa en la contaminación del agua. (Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escobar, 2007).

Este índice es ampliamente empleado entre todos los índices de calidad de agua existentes, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río está contaminado o no. (SNET, 2010)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE ESTUDIO

2.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO

2.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo

2.3.2. Toma y Conservación de las muestras

2.3.4. Equipos

2.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ICA-NSF

2.4.1. Parámetros de la calidad del agua del modelo NSF

2.4.1.1. Importancia e impacto de los parámetros de calidad

2.4.1.1.1. Parámetros Físicos

2.4.1.1.2. Parámetros Químicos

2.4.1.1.3. Parámetros Microbiológicos

2.4.2. Cálculo del índice de calidad del agua del modelo NSF

2.4.2.1. Clasificación del ICA –NSF

2.5. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

2.5.1. Determinación del caudal utilizando micromolinete

2.1. TIPO DE ESTUDIO

La presente tesis corresponde a una investigación de tipo experimental, y de trabajo de campo, la cual abarca un estudio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de los ríos Mazar y Pindilig, y sus relaciones con los caudales a fin de determinar su calidad.

2.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la selección de los sitios de monitoreo se realizó un recorrido de campo, que nos permitió determinar los tramos más representativos de los ríos de cada subcuenca, para dentro de ellos ubicar el sitio para los puntos de toma de muestra del área de estudio.

Basados en la cartografía y tomando en cuenta la accesibilidad y observaciones directas en campo, se eligieron en total 5 puntos de muestreos, 2 puntos en la subcuenca del río Mazar y 3 en la del río Pindilig, cuyos sitios y coordenadas se encuentran indicados en la Tabla 1 y Figura 18, cubriendo así las zonas más representativas de las subcuencas.

Tabla 1: Coordenadas de los sitios de muestreo

RÍOS	PUNTOS DE MUESTREO	LUGAR	COORDENADAS		ALTITUD
			ESTE	NORTE	
MAZAR	PM1	Mazar (Colepato) A.J. Pallcayacu	758112 m	9720228 m	2635 msnm
	PM2	Mazar (Presa) A.J. Paute	764436 m	9713118 m	2031 msnm
	PM3	Macas A.J. Dudas	758573 m	9708690 m	2532 msnm
PINDILIG	PM4	Dudas A.J. Macas	758957 m	9709418 m	2564 msnm
	PM5	Pindilig A.J. Embalse Amaluza	762917 m	9708826 m	2350 msnm

Nota. PM = Punto de Muestreo. Elaborado por: (Autores, 2015).

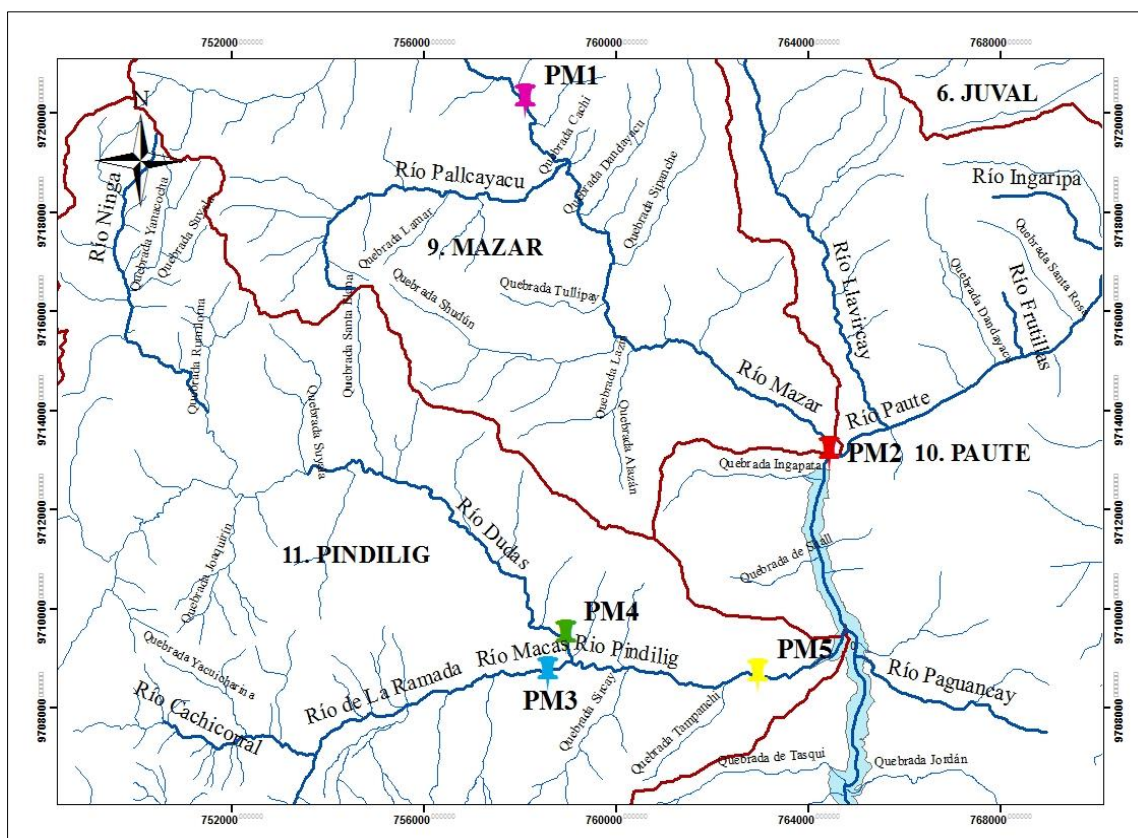


Figura 18: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para la subcuenca del río Mazar, la zona de estudio comprende un tramo aproximado de (9 km) del río Mazar, que inicia en la comunidad de Colepato (parte media), hasta llegar aguas abajo de la presa Mazar (parte baja), aproximadamente a 50 metros antes de la unión donde las aguas del río Mazar confluyen con las aguas del río Pauté.

Se ha observado que los tramos medios y bajos de la subcuenca se encuentran bastante intervenidos, esto debido a que la cubierta vegetal natural ha sido sustituida por pastos pobres, por lo que en ciertos sectores existen procesos erosivos intensos.

El punto 1 de muestreo se encuentra ubicado en un tramo de la cuenca media, comunidad de Colepato (Ver Figuras 19 y 20), es importante mencionar que en esta comunidad se ha constatado la presencia de alpacas, debido al programa de reinserción que se lleva a cabo en la zona, así como la existencia de ganado, no existen sistemas de agua potable y alcantarillado, por lo que la comunidad descarga sus aguas residuales domésticas de forma directa a los cuerpos de agua (quebradas).



Figura 19: Río Mazar (cuenca media-época lluviosa)
Fuente: (Autores, 2015)



Figura 20: Río Mazar (cuenca media-época seca)
Fuente: (Autores, 2015)

Con respecto al punto 2 (Ver Figuras 21 y 22), el muestreo se realiza aproximadamente a 8 metros del puente ubicado dentro de las inmediaciones de la represa Paute Mazar, recibiendo todas las descargas que son emitidas por las comunidades ubicadas en la parte alta y media de la subcuenca, es importante mencionar que antes de llegar al punto de

muestreo existe la obra en construcción (tubería de conducción) del aprovechamiento San Antonio, por lo que se producen constantes deslizamientos en los taludes, debido a que la obra se encuentra paralizada hasta el momento.



Figura 21: Río Mazar (cuenca baja-época lluviosa)
Fuente: (Autores, 2015)



Figura 22: Río Mazar (cuenca baja-época seca)
Fuente: (Autores, 2015)

Para la subcuenca del río Pindilig, el área de estudio inicia aproximadamente a 500 metros antes de la confluencia de los ríos Macas y Dudas hasta llegar a la zona de construcción (casa de máquinas) del aprovechamiento Dudas Mazar.

El punto 3 de muestreo corresponde al río Macas (Ver Figura 23) y el punto 4 al río Dudas (Ver Figura 24), dichos puntos se encuentran ubicados aproximadamente a 500 metros antes de su confluencia, formando el río Pindilig. Aguas abajo de estos puntos de muestreo se encuentra construida la captación y el sedimentador del aprovechamiento Dudas, proyecto Dudas Mazar.

La muestra compuesta del río Pindilig, correspondiente al punto 5 de muestreo (Ver Figuras 25v y 26), es tomada junto a un puente de paso, ubicado aproximadamente a 1 km antes de la unión, donde el río Pindilig drena sus caudales directamente al embalse a formarse aguas arriba de la presa Mazar.

Es importante mencionar que dicho punto se encuentra cerca de la construcción de casa de máquinas del aprovechamiento Dudas, obra que se encuentra paralizada hasta la fecha, por lo que aún no entra en fase de operación.

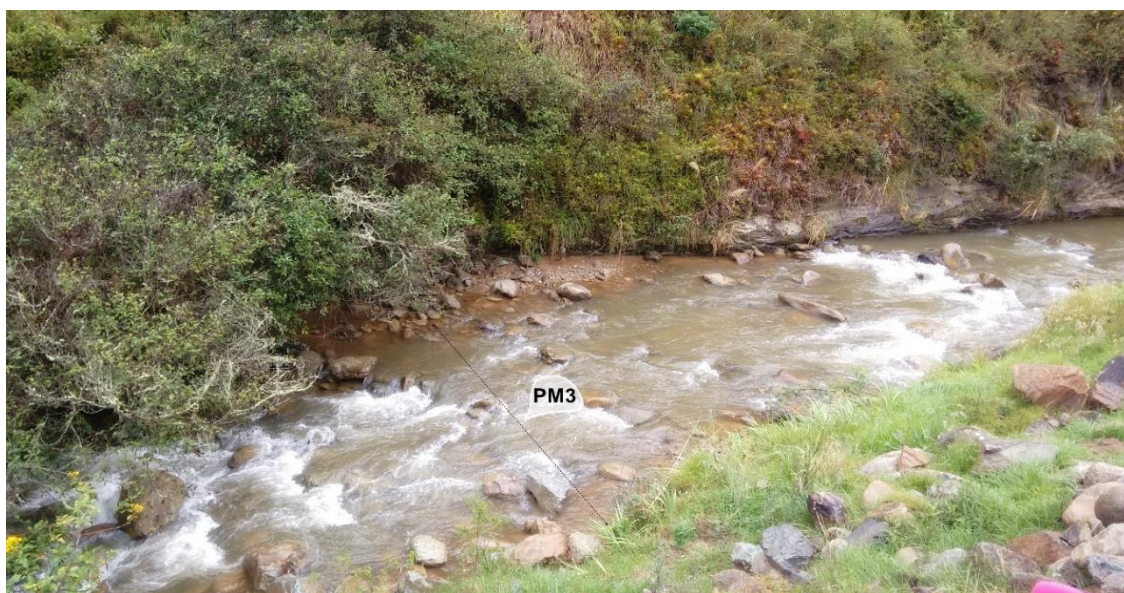


Figura 23: Río Macas (cuenca media-época seca)
Fuente: (Autores, 2015)



Figura 24: Río Dudas (cuenca media-época seca)
Fuente: (Autores, 2015)



Figura 25: Río Pindilig (cuenca baja-época lluviosa)
Fuente: (Autores, 2015)



Figura 26: Río Pindilig (cuenca baja-época seca)
Fuente: (Autores, 2015)

Los puntos de muestreo fueron determinados mediante posicionamiento geográfico con la utilización de un GPS y representan sitios críticos debido a una posible contaminación por aguas resultantes de uso doméstico y por otras actividades antropogénicas que se realizan en las poblaciones ubicadas en las riberas de los ríos, así como también por desechos sólidos, entre otros contaminantes.

Los sitios fueron seleccionados de acuerdo con la proximidad de las fuentes de contaminación y de los efluentes, así también estos sitios permitieron el fácil acceso para la toma de muestras, cercanos a puentes, permitiéndonos desarrollar las actividades propuestas con éxito.

2.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO

Para obtener una mayor representatividad de la calidad de los ríos Mazar y Pindilig, las muestras fueron tomadas durante el periodo Mayo - Noviembre 2015, tratando de abarcar la época veraniega e invernal de la zona (año hidrológico).

Se ha considerado a los meses de Mayo y Junio como meses representativos de la época invernal, siendo Mayo el mes de transición para la época, así mismo los meses de Septiembre y Noviembre se consideran como meses representativos de la época veraniega, siendo Septiembre el mes de transición para dicha época.

2.3.1. Toma y Conservación de las muestras

La toma de la muestra es una de las acciones de mayor importancia a realizar, de la que no solo dependen los resultados analíticos, sino también su posterior interpretación. Existen diferentes tipos de muestras, entre ellas podemos mencionar a la muestra simple, la cual representa las condiciones de una corriente o de un agua residual en el momento en que esta se recolecta y la muestra compuesta, que representa la unión de varias muestras simples de igual volumen recolectadas en el mismo punto a distintos tiempos (compuesta en el tiempo) (Ramirez, Calidad del Agua, 2011).

Es así que se estableció un volumen de 1200 cc para la muestra simple y para la muestra compuesta un volumen de 2400 cc, de acuerdo a las especificaciones dadas por el personal del laboratorio.

El programa de muestreo de calidad de agua de los ríos Mazar y Pindilig se realizó en base a las recomendaciones y pautas emitidas por la norma INEN 2 226:00, sobre diseño de los programas de muestreo para calidad del agua, conformado por los siguientes apéndices:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:1998: *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras.*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998: *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.* (INEN, 2000)

Se decidió hacer muestreo simple en las cuencas medias de los ríos Mazar (Colepato) y Pindilig (ríos Macas y Dudas), debido a que se consideró que las condiciones en los puntos de muestreo son razonablemente constantes en el espacio y en el tiempo, representando así las condiciones de la corriente en el momento de la recolección.

Se realizaron muestreos compuestos con una variabilidad en el tiempo (10h00, 11h30, 13h00 y 14h30) recolectadas en el mismo punto en las cuencas bajas de los ríos Mazar (Presa) y Pindilig, considerando que la composición del agua presentaba cierta variabilidad, para el caso del río Pindilig la muestra compuesta es más representativa ya que este punto indica la confluencia de los ríos Macas y Dudas, en cada caso se obtuvieron muestras individuales (600cc), las cuales se mezclaron para formar la muestra compuesta (Ramirez, Calidad del Agua, 2011).

- *Río Mazar*

Se realizó el monitoreo con un total de 8 muestras; la frecuencia de muestreo fue de 2 veces (muestra simple y muestra compuesta) cada mes, (mayo, junio, septiembre, noviembre), en 2 puntos estratégicos del río Mazar (Colepato y Presa), 1 muestra por cada punto.

- *Río Pindilig*

Se realizó el monitoreo con un total de 12 muestras; la frecuencia de muestreo fue de 3 veces (2 muestras simples y 1 compuesta) cada mes, (mayo, junio, septiembre, noviembre), en 3 puntos a lo largo de los ríos Macas, Dudas y Pindilig, 1 muestra por cada punto.

Tabla 2: Frecuencia de muestreo

SITIO	TIPO DE MUESTRA	MESES							
		Mayo		Junio		Septiembre		Noviembre	
		27-may	28-may	24-jun	25-jun	24-sep	25-sep	11-nov	12-nov
1. Mazar (Colepato) A.J. Pallcayacu	M. SIMPLE	M1		M3		M5		M7	
2. Mazar (Presa) A.J. Paute	M. COMP.	M2		M4		M6		M8	
3. Macas A.J. Dudas	M. SIMPLE		M1		M4		M7		M10
4. Dudas A.J. Macas	M. SIMPLE		M2		M5		M8		M11
5. Pindilig A.J. Embalse Amaluza	M. COMP.		M3		M6		M9		M12

Nota. M = Muestra. Elaborado por: (Autores, 2015).

Las muestras fueron tomadas en mitad del río, a contra corriente y a 0.6H, siendo H la profundidad del río a la cual se toman las muestras de agua.

Para el caso del pH, temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos in situ con el equipo multiparámetro y para la medición de turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, fueron determinados en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Además se realizó la fijación oxígeno disuelto en campo.

Se utilizaron envases de plástico previamente lavados de acuerdo a la norma INEN 226:2000 para la recolección de las muestras simples y compuestas; para el caso del oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y fosfatos se utilizaron envases de vidrio con boca angosta para evitar la entrada de aire y para los coliformes fecales envases esterilizados de plástico de alta densidad.

Previo a la toma de muestra, todos los envases fueron enjuagados dos o tres veces con el agua del río a monitorear; desechando tales enjuagues y llenados completamente hasta su parte superior. Éstos fueron etiquetados indicando el nombre del punto de muestreo, fecha, hora, volumen, y tipo de parámetro a analizar. Adicionalmente se las preservó adecuadamente en cajas térmicas portátiles, sin ingreso de luz, con la finalidad de evitar posibles cambios químicos para la realización de los análisis correspondientes en el laboratorio.



Figura 27: Cajas Térmicas
Fuente: (Autores, 2015)

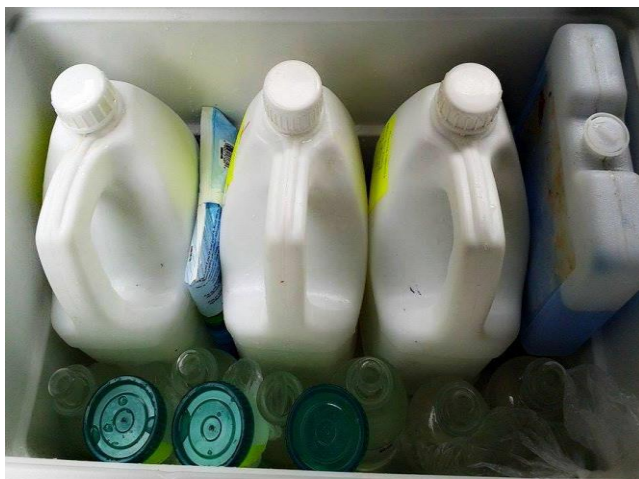


Figura 28: Envases
Fuente: (Autores, 2015)

En general se ha seguido los requerimientos especiales sobre las técnicas de transporte y conservación de muestras basadas en la norma INEN 2 169:199.

2.3.2. Equipos

Para el tratamiento de las muestras de aguas y los análisis correspondientes, fue necesaria la utilización de equipos específicos y reactivos con alto grado de pureza que se indican a continuación.

Tabla 3: Equipos utilizados en los monitoreos

PARÁMETRO	SITIO	EQUIPO/ MÉTODOS	FOTOGRAFÍAS
pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto	In situ	Medidor multiparámetro modelo U52G-10	
pH	Laboratorio	Método Electrométrico	
Oxígeno Disuelto	Laboratorio	Fijación de Oxígeno Disuelto (Método de Winkler)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Laboratorio	Ensayo DBO ₅	
Turbiedad	Laboratorio	Método Nefelométrico	
Nutrientes (Nitratos y Fosfatos)	Laboratorio	Método de Espectrofotometría	
Sólidos Disueltos Totales	Laboratorio	Dsecados a 103°C -105°C	
Coliformes Fecales	Laboratorio	Método NMP (Número Más Probable)	

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015).

A continuación se especifica más detalles del muestreo por parámetros a analizar

Tabla 4: Envases utilizados en los monitoreos

PARÁMETRO			RECIPIENTE	VOL MUESTRA	FOTOGRAFÍA
1	Muestra Simple-Compuesta	pH	Plástico Limpio	1200 cc 2400cc	
2		Nitratos			
3		Turbiedad			
4		SDT			
5		Temperatura	No se requiere	—	—
6		Oxígeno Disuelto	Vidrio con cierre hermético y tapa esmerilada	300 ml	
7		DBO ₅	Vidrio con cierre hermético y tapa esmerilada	300 ml	
8		Fosfatos	Vidrio lavado con solución de ácido clorhídrico y enjuagadas con agua desionizada	80 ml	
9		Coliformes Fecales	Envases esterilizados de plástico	50 ml	

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015).

2.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ICA-NSF

Inicialmente se efectuó una revisión de diferentes índices desarrollados a nivel nacional e internacional. A partir de dicha revisión y teniendo en cuenta la aplicabilidad de éstos a las condiciones de los ríos Mazar y Pindilig, se seleccionó el índice desarrollado por la Fundación Sanitaria Nacional de los Estados Unidos (ICA-NSF) por su gran aplicación en diferentes estudios a nivel internacional.

2.4.1. Parámetros de la calidad del agua del modelo NSF

El modelo NSF analiza nueve parámetros para determinar el grado de contaminación del recurso hídrico e identificar en forma práctica el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua.

Los 9 parámetros son los siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO_5 , en mg/l)
- Oxígeno Disuelto, expresado como porcentaje de saturación (OD, en % Sat)
- Potencial de hidrógeno (unidades de pH)
- Turbiedad (NTU)
- Fosfatos (PO_4^{-3} , en mg/l)
- Nitratos (NO_3^{-2} , en mg/l)
- Temperatura (T), expresada como la desviación de la T desde el equilibrio (ΔT)
- Coliformes Fecales (Coli. F, en NMP/100 ml)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT, en mg/l) (Brown R. M., 1970)

2.4.1.1. Importancia e impacto de los parámetros de calidad

El agua que encontramos en la naturaleza presenta cambios a largo de su ciclo, puesto que aún sin intervención humana presentan variaciones que pueden llegar a ser significativas, razón por la cual se fijan límites en sus concentraciones. Es así que en el siguiente apartado se presentan los efectos que tienen las variaciones de los parámetros (físicoquímicos y microbiológicos) aplicados en el modelo de la Fundación Sanitaria Nacional de los Estados Unidos.

2.4.1.1.1. Parámetros Físicos

- **Cambio de la Temperatura**

La temperatura se mide en grados centígrados (°C) y es un factor clave para el desarrollo de la vida en un cuerpo de agua.

Los ríos pueden presentar variaciones de temperatura debido a diferentes factores como: altitud, latitud, profundidad del cauce, hora del día, temperatura del ambiente, circulación del aire, nubosidad y fluctuaciones anuales relacionadas con la época de invierno o de estiaje.

Impacto Ambiental

El incremento de la temperatura reduce la cantidad de oxígeno presente en el agua, los ecosistemas acuáticos se ven afectados, produce eutrofización y proliferación de organismos patógenos, acelera las reacciones químicas, incrementa la solubilidad de algunas sustancias, reduce la solubilidad de los gases e incrementa la actividad biológica.

Usualmente las variaciones de temperatura indican contaminación por descargas de aguas residuales o descargas de las aguas utilizadas en procesos industriales con elevadas temperaturas.

- **Turbiedad**

La turbiedad se mide en unidades nefelométricas NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Se refiere a la falta de transparencia del agua, debido a la presencia de partículas en suspensión (sedimentos, fitoplancton, etc.); siendo así que mientras más sólidos suspendidos hay en el agua, más sucia parecerá esta, más alta será la turbidez y menor será su calidad.

La turbiedad tiene tanto un origen inorgánico (arcilla, arenas, etc.) como es el caso de la turbiedad aportada por la erosión, hasta tener un origen orgánico (microorganismos, limus, etc.) como es el caso de la turbiedad aportada por actividades antrópicas.

Impacto Ambiental

En niveles altos de turbidez, debido a las altas concentraciones de partículas suspendidas, las cuales absorben calor de la luz del sol y ocasionan aumento de la temperatura del agua, por lo que se reduce la concentración de oxígeno, provocando que el agua pierda su capacidad de acoger a la diversidad de organismos acuáticos. (Ramirez, Evaluación y Diagnóstico, 2011)

2.4.1.1.2. Parámetros Químicos

- **pH**

Las aguas naturales contienen una serie de ácidos y bases débiles que controlan la actividad del ion hidrógeno, mismo que se expresa como pH. Se trata de una escala logarítmica inversa basada en la concentración de iones de hidrógeno.

Esta escala va del 0 al 14, siendo 0 extremadamente ácido y 14 extremadamente alcalina; en tanto que un valor de 7 es neutro. Cuanto más iones de hidrógeno contenga el agua, más ácida será ésta y más bajo su valor de pH.

Impacto Ambiental

El pH de aguas no contaminadas, depende del balance entre el dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato, iones que siempre están presentes en las aguas naturales; y cuya variación puede ser causada por la disolución de rocas carbonatadas, cambio atmosférico de CO₂, y de la respiración de los organismos acuáticos.

El pH es un importante parámetro del cual dependen gran número de procesos que tienen lugar en las aguas naturales; el valor del pH compatible con la vida de los peces de agua dulce y los invertebrados debe estar comprendido entre 6 y 9, y debe ser constante para permitir crecer y multiplicarse a los organismos. Valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los compuestos químicos del agua y movilizar los contaminantes, en este caso si tenemos niveles bajos de pH puede incrementarse la toxicidad del agua debido a que aumenta la solubilidad de metales como: hierro, cobre, zinc níquel, plomo y cadmio, entre otros.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días**

Se refiere a la cantidad de materia orgánica presente en el agua y es la medida que representa la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para oxidar o estabilizar la materia orgánica, bajo condiciones aeróbicas durante 5 días a 20°C.

Impacto Ambiental

La demanda bioquímica de oxígeno tiene una relación directa con la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, si los niveles de DBO_5 son altos, existe reducción de la cantidad de oxígeno, debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta. En caso de no haber materia orgánica, no hay muchas bacterias que la descompongan y por ende la DBO_5 será menor y el OD será mayor. En caso de que el nivel de la DBO_5 sea demasiado alta, los organismos acuáticos se verían gravemente afectados.

- **Nitratos**

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. El nitrógeno al combinarse con el oxígeno forma los llamados nitratos, los mismos que son compuestos inorgánicos formados por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); su símbolo químico es NO_3 . El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas siendo reciclado continuamente por las plantas y animales.

Impacto Ambiental

Los compuestos que contienen nitrógeno actúan como nutrientes en corrientes y ríos, por esta razón los fenómenos de eutrofización de lagos, pueden estar relacionados directamente con una elevada concentración de nitratos en el agua.

Estos nutrientes generalmente provienen del escurrimiento de tierras agrícolas, pastos, aguas negras, detergentes y desechos de animales. Las reacciones de nitrato NO_3^- en el agua dulce pueden agotar el oxígeno y, en consecuencia, mueren los organismos acuáticos. Su presencia en altas concentraciones en agua potable es riesgosa para la salud.

- **Fosfatos**

Los fosfatos son compuestos químicos formados por fósforo y oxígeno, necesarios para el crecimiento de plantas y animales. El fósforo en su forma elemental es muy tóxico, por lo que es asimilado en su mayoría en forma de fosfatos.

Impacto Ambiental

Diferentes cantidades de fosfatos son arrastrados por la lluvia desde los suelos agrícolas hacia cursos de agua. Las cantidades excesivas de fosfato producen un excesivo crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, las cuales consumen grandes cantidades de oxígeno.

- **Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales son un parámetro de medida de las sustancias (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica; en forma molecular, ionizada o micro-granular, que se encuentran contenidos en el agua.

La medida SDT, tiene como principal aplicación el estudio de la calidad del agua de los ríos, lagos y arroyos. Es un indicador de las características del agua puesto que puede determinar la presencia de contaminantes químicos.

Impacto Ambiental

La presencia de altas cantidades de sólidos disueltos totales puede cambiar la calidad del agua, provocando que esta tenga un sabor amargo a metal o salado; además, los sólidos disueltos afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible.

- **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto se refiere a la cantidad de oxígeno del aire que se encuentra disuelto en el agua, cuyas concentraciones típicamente están en el intervalo de 5 a 15 mg/l, dicha

concentración también se encuentra influenciada por factores como el movimiento de las aguas del río, temperatura, salinidad y altura.

El porcentaje de saturación, es la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua, comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura. Por ejemplo, se dice que el agua está saturada en un 100%, si contiene la cantidad máxima de oxígeno a esa temperatura. Una muestra de agua que está saturada en un 50% solamente tiene la mitad de la cantidad de oxígeno que potencialmente podría tener a esa temperatura. A veces, el agua se sobresatura con oxígeno cuando se mueve rápidamente, esto generalmente dura un período corto de tiempo, pudiendo ser dañino para los peces y otros organismos acuáticos.

Impacto Ambiental

El oxígeno disuelto es un parámetro clave para la evaluación de la calidad del agua en los sistemas hídricos. La medida de oxígeno disuelto expresa información sobre las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren en las aguas. Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser causados por vertidos con carga orgánica como materia animal y vegetal ya que las bacterias requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica y por lo tanto disminuyen el oxígeno del agua, alterando toda la estructura del sistema acuático (Huayamave, 2013).

2.4.1.1.3. Parámetros Microbiológicos

- **Coliformes Fecales**

Las bacterias coliformes fecales son un subgrupo específico de las bacterias fecales, siendo la más común de este grupo la *Escherichia Coli*, tienen la capacidad de crecer a temperaturas elevadas y permiten detectar la existencia de heces en el agua. Son microorganismos capaces de producir enfermedades y están asociados a los vertidos fecales, siendo sus fuentes principales las explotaciones ganaderas, agrícolas y las zonas urbanas.

Impacto Ambiental

La presencia de coliformes fecales es un indicador de la calidad de agua para consumo humano, en los medios acuáticos los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales, porque su origen es principalmente fecal. Al presentarse éstos en el agua indican que existe contaminación de tipo microbiológica, lo que puede provocar enfermedades intestinales en personas que la consuman.

Entre las enfermedades patógenas que se transmiten por el agua contaminada, podemos mencionar la fiebre tifoidea, la gastroenteritis viral o bacteriana y la hepatitis A. (Huayamave, 2013).

2.4.2. Cálculo del índice de calidad del agua del modelo NSF

Los índices de calidad de agua se calculan para cada uno de los puntos de monitoreo y para cada campaña, y sus valores se deben representar gráficamente, esto con el propósito de reconocer fácilmente la tendencia de cambio del ICA con respecto a la estación lluviosa y seca, así como la variabilidad de sus parámetros en el tiempo y espacio.

El modelo desarrollado por la Fundación Nacional de Sanidad de los EE.UU. (ICA-NSF), emplea una escala de 100 puntos que sintetiza los valores de nueve parámetros con diferentes ponderaciones entre 0 a 100 (Ver Tabla 5).

Para determinar el valor del “ICA-NSF” es necesario tener los valores de las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del índice. Se utilizará el método aditivo que consiste en la suma de los productos resultantes entre los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro (Brown R. M., 1970).

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

Figura 29: Fórmula para el cálculo del ICAa - NSF
Fuente: (Brown R. M., 1970)

Donde:

- **ICAa:** índice de calidad aditivo
- **i:** cada uno de los parámetros de calidad elegidos
- **Ii:** subíndice del parámetro *i*; (se encuentra entre 0 y 100)
- **Wi:** pesos relativos asignados a cada parámetro (*Ii*), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100.

Tabla 5: Pesos relativos para cada parámetro del “ICA - NSF” de acuerdo a su importancia

PARÁMETRO	PESO RELATIVO (Wi)	IMPORTANCIA
Oxígeno Disuelto	17%	Condiciones críticas para la vida acuática
Coliformes Fecales	15%	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
pH	12%	Condiciones para la vida acuática y agua potable
DBO ₅	10%	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
Fosfatos	10%	Determinar niveles de eutrofización
Nitratos	10%	Determinar niveles de eutrofización y riesgos de consumo
Temperatura	10%	Crítico para la vida acuática y consumo humano
Sólidos Disueltos Totales	8%	Limitante para aguas de consumo humano
Turbiedad	8%	Limitante para aguas de consumo humano

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015). Fuente: Fuente: (Brown R. M., 1970)

Cada parámetro posee una curva estandarizada que relaciona la concentración o nivel del mismo. A partir del valor del parámetro (i) se puede obtener el valor del subíndice correspondiente (I_i), obteniendo una curva donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual se encuentra entre 0 y 100. Siendo la calificación de 100 la que proporciona la concentración más favorable para la conservación de flora y fauna (Brown & Barnwell, 1987).

A continuación se explica los pasos a seguir para calcular los subíndices (I_i), con sus respectivas curvas promedio, para cada parámetro del Índice de Calidad:

1. Si la DBO_5 es mayor a 30 mg/l el (I_1) es igual a 2, si es menor a 30 mg/l buscar el valor en el eje de las (X) y se procede a encontrar el valor en el eje de las (Y), mediante interpolación. El valor encontrado es el (I_1) de la DBO_5 que luego se multiplica por su peso W_1 .

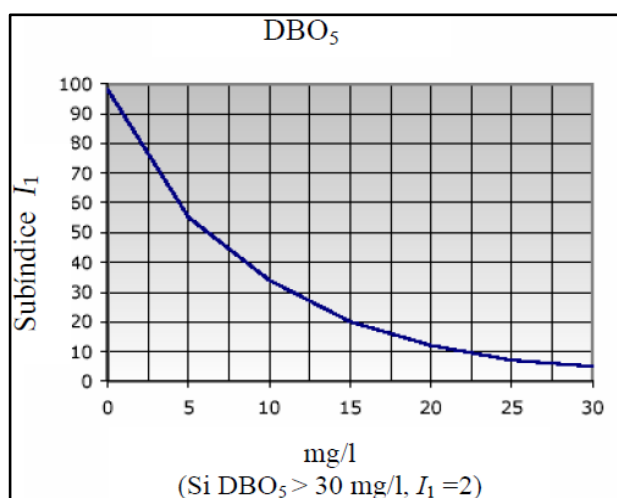


Figura 30: Valoración de la calidad de agua en función de la DBO_5
Fuente: (Brown R. M., 1970)

2. Para el Oxígeno Disuelto (OD) primero se debe calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para lo cual se identifica el valor de saturación de OD de acuerdo a la altitud y temperatura como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 6: Concentraciones de oxígeno disuelto en equilibrio a varias altitudes y temperaturas

VALORES DE OXÍGENO DISUELTO SATURADO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA Y TEMPERATURA											
ALTURA (m)	TEMPERATURA ° C										
	6	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
1900	10.34	9.8	9.31	8.86	8.44	8.06	7.7	7.38	7.07	6.79	6.52
2000	10.21	9.68	9.2	8.75	8.34	7.96	7.61	7.28	6.98	6.70	6.44
2100	10.08	9.56	9.08	8.64	8.23	7.86	7.51	7.19	6.89	6.61	6.35
2200	9.95	9.44	8.97	8.53	8.13	7.76	7.41	7.10	6.80	6.53	6.27
2300	9.83	9.32	8.85	8.42	8.02	7.66	7.32	7.01	6.72	6.44	6.19
2400	9.70	9.20	8.74	8.32	7.92	7.56	7.23	6.92	6.63	6.36	6.11
2500	9.58	9.09	8.63	8.21	7.82	7.47	7.13	6.83	6.54	6.28	6.03
2600	9.46	8.97	8.52	8.11	7.72	7.37	7.04	6.74	6.46	6.20	5.95
2700	9.34	8.86	8.42	8.00	7.63	7.28	6.95	6.66	6.38	6.12	5.88
2800	9.23	8.75	8.31	7.90	7.53	7.18	6.87	6.57	6.30	6.04	5.80
2900	9.11	8.64	8.20	7.80	7.43	7.09	6.78	6.49	6.22	5.96	5.72
3000	9.00	8.53	8.10	7.71	7.34	7.00	6.69	6.4	6.14	5.89	5.65
3100	8.88	8.42	8.00	7.61	7.25	6.91	6.61	6.32	6.06	5.81	5.58
3200	8.76	8.31	7.90	7.51	7.16	6.82	6.53	6.24	5.98	5.73	5.51

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015). Fuente: (Brown R. M., 1970)

Si el porcentaje de saturación del OD es mayor al 140%, el (I_2) es igual a 50, si es menor al 140% de saturación de OD buscar el valor en el eje de las (X) e interpolar el valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_2) de Oxígeno Disuelto el cual se multiplica por su peso W_2 .

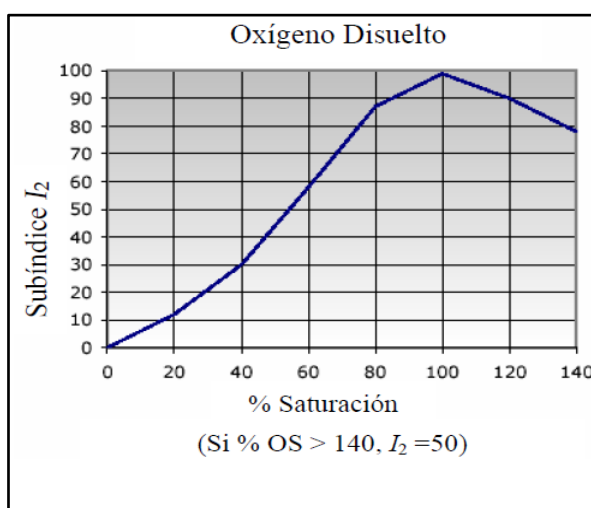


Figura 31: Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del OD
Fuente: (Brown R. M., 1970)

3. Si el valor de pH es menor a 2 o mayor a 12 unidades el (I_3) es igual a 0, si el valor está fuera de este rango, buscar el valor en el eje de las (X) e interpolar el valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_2) de pH y se procede a multiplicarlo por su peso W_3 .

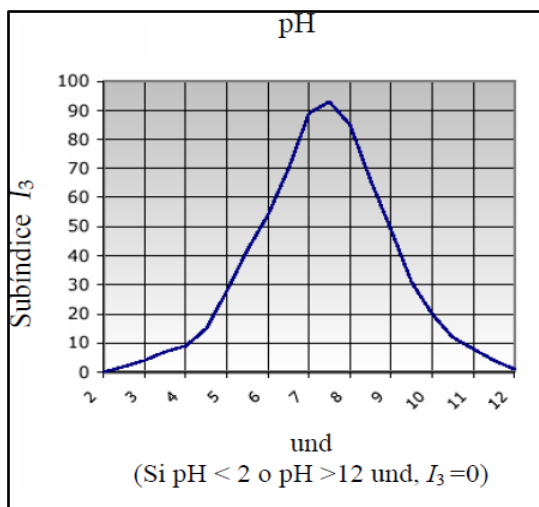


Figura 32: Valoración de la calidad de agua en función del pH
Fuente: (Brown R. M., 1970)

4. Si la turbidez es mayor a 100 NTU el (I_4) es igual a 5, si es menor de 100 NTU, buscar el valor en el eje de las (X) y proceder a encontrar el valor en el eje de las (Y) mediante interpolación. El valor encontrado es el (I_4) de turbidez al cual lo multiplicamos por el peso W_7 .

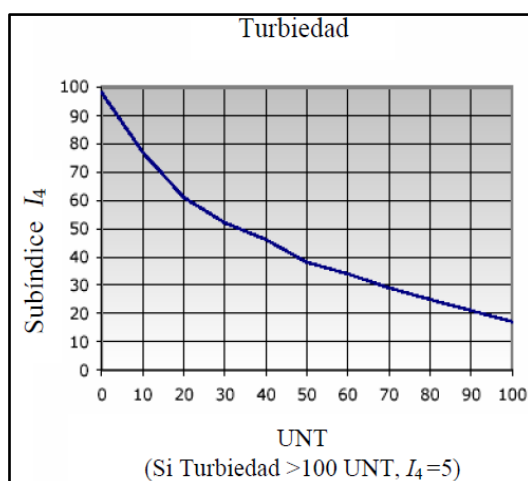


Figura 33: Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de la Turbiedad
Fuente: (Brown R. M., 1970)

5. Si el valor de los fosfatos es mayor a 10 mg/l el (I_5) es igual a 2, si es menor de 10 mg/l buscar el valor en el eje de las (X), proceder a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_5) y se procede a multiplicarlo por su peso W_5 .

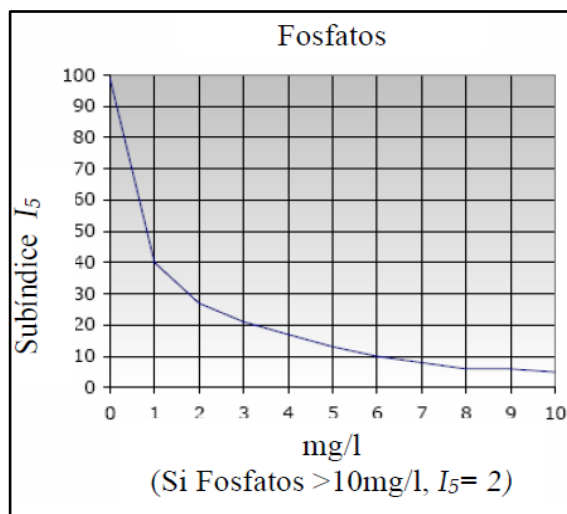


Figura 34: Valoración de la calidad de agua en función de los Fوسفاتos
Fuente: (Brown R. M., 1970)

6. Si el valor de los nitratos es mayor a 100 mg/l el (I_6) es igual a 1, si es menor de 100 mg/l buscar el valor en el eje de las (X) y proceder a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_6) de los nitratos y se procede a multiplicarlo por su peso W_6 .

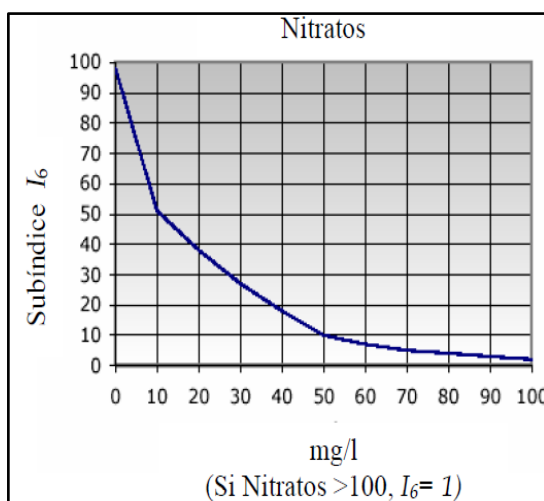


Figura 35: Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos
Fuente: (Brown R. M., 1970)

7. Para el parámetro de temperatura (I_7) se debe realizar la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra. Si el valor de esa diferencia es mayor a 15°C el (I_7) es igual a 5, si es menor a 15°C , buscar el valor en el eje de las (X) y proceder a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_7) de temperatura y se lo multiplica por su W_7 .

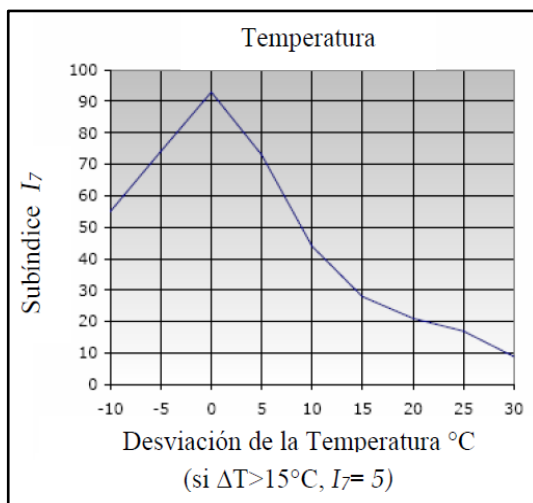


Figura 36: Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de Temperatura
Fuente: (Brown R. M., 1970)

8. Si los Coliformes Fecales son mayores a 10^5 NMP/100 ml el (I_8) es igual a 2, si el valor es menor a 10^5 NMP/100 ml, buscar el valor en el eje de las (X) e interpolar el valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_8) de Coliformes Fecales, y se procede a multiplicarlo por su peso W_8 .

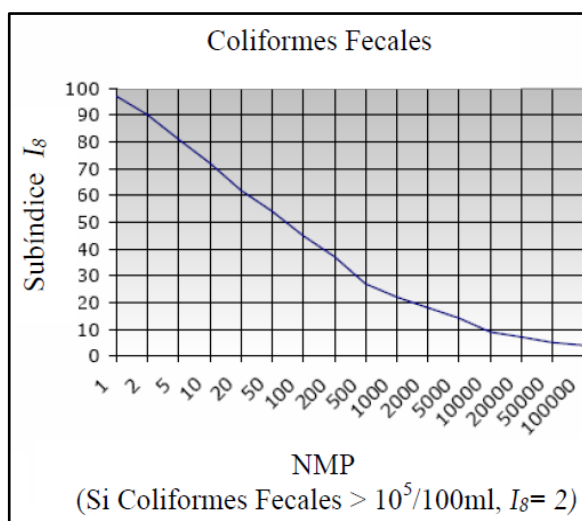


Figura 37: Valoración de la calidad de agua en función de los Coliformes Fecales
Fuente: (Brown R. M., 1970)

9. Si los Sólidos Disueltos Totales son mayores a 500 mg/l el (I_9) es igual a 20, si es menor a 500 mg/l, buscamos el valor en el eje de las (X), y se procede a interpolar el valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (I_9) de los SDT y se procede a multiplicarlo por su W_9 .

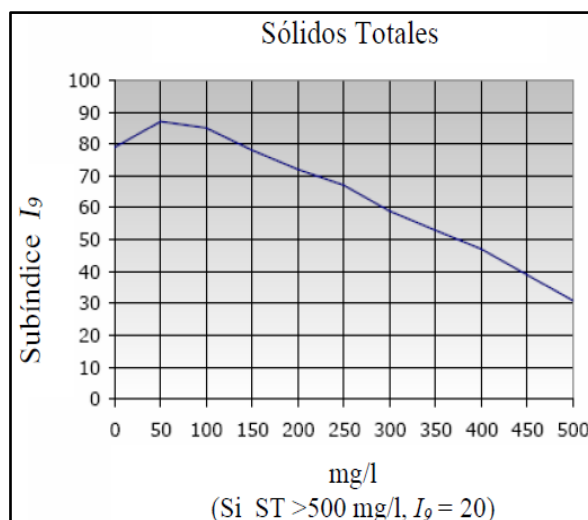


Figura 38: Valoración de la calidad de agua en función de los SDT
Fuente: (Brown R. M., 1970)

Una vez obtenidos los valores respectivos de cada subíndice, se procede a aplicar la fórmula establecida para calcular el índice de calidad en cada punto muestreado, para posteriormente clasificar la calidad del agua de acuerdo a los rangos establecidos por el modelo NSF para consumo humano como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF

ICA	Criterio general	USO: Abastecimiento Público
100	Excelente calidad	No requiere purificación
91		
90	Buena calidad	Ligera purificación
71		
70	Mediana calidad	Consumo dudoso sin purificación
51		
50	Mala calidad	Tratamiento potabilizador
26		
25	Pésima calidad	Dudosa para consumo
0		

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015). Fuente: (Brown R. M., 1970)

- El agua en un rango de 91 a 100, se considera como excelente calidad, puede tener una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua sería segura para todas las formas de contacto directo con ella, ya que se encuentra en una forma muy similar o totalmente pura a como se encuentra en la naturaleza, sin ningún agente contaminante que la altere y no requiere de tratamiento.
- El agua en un rango de 71 a 90, se considera como buena calidad, aunque para su consumo requeriría una purificación menor ya que se encuentra algún agente contaminante y por lo tanto es menor su calidad.
- En el rango de 51 a 70 se encuentra el agua de mediana calidad, generalmente tiene menor diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas. Se trata de un agua contaminada por diversos agentes, y para consumo humano necesita de tratamiento potabilizador.
- En el rango de 26 a 50 se encuentra el agua de mala calidad, es inaceptable para su consumo y requiere de tratamiento.
- El agua con un ICA-NSF de 0 a 25 se considera como pésima, es inaceptable para consumo humano y cualquier clase de contacto (Ott. W, 1981).

2.5. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Una vez obtenido los índices de calidad del agua para cada punto de muestreo en la zona de estudio, es importante relacionarlos con el flujo de agua que corre por la sección del río muestreado, de manera que en el análisis se obtengan resultados más representativos.

Las mediciones de caudal son importantes ya que en base a estos, se calculan las cargas contaminantes.

En cada campaña de monitoreo se aforaron las secciones de los ríos en estudio, de los cuales se tomaron las muestras de agua, los resultados serán expuestos en el capítulo 3 (resultados y análisis). Para este procedimiento se eligió el método de aforo mediante micromolinete.

2.5.1. Determinación del caudal utilizando micromolinete

Para la determinación del caudal de los ríos en estudio, se calculó el área de la sección transversal y velocidad en cada sitio. La velocidad media de la corriente se obtuvo mediante la utilización de un micromolinete de marca “Hydrological Service”:

La metodología aplicada se explica a continuación:

a. Equipo:

El micromolinete consta de los siguientes implementos:

- Molinete, cuenta con una hélice, la cual debe ser del tamaño apropiado para el intervalo de caudales que se va a aforar, esta se mueve y registra un número determinado de revoluciones en las secciones necesarias para cada profundidad. Una vez terminado el aforo se guarda completamente seco.
- Flexómetro, el cual sirve para marcar las diferentes secciones a lo ancho del río y en cada profundidad para las mediciones, debe ser de un material que resista a las condiciones de trabajo de campo.
- Cronómetro, para registro del intervalo de tiempo para cada medición.

- Contador digital o tacómetro, para la determinación de las revoluciones de la hélice. Comúnmente funciona con baterías, por lo que se debe verificar su estado antes de su uso, se deben llevar siempre baterías de repuesto.
- Varilla o soporte metálico, para la medición de las profundidades en cada sección del río; se utilizan por lo general, las que trae el molinete para su instalación en la sección transversal de control del canal a aforar.
- Carrete de cable y otros accesorios de apoyo



Figura 39: Micromolinete “Hidrological Service”
Fuente: (Autores, 2015)

b. Selección del sitio de aforo:

Los aforos fueron realizados en las mismas secciones transversales de los sitios de toma de muestras, las cuales eran de fácil acceso y seguros para realizar con éxito las actividades propuestas.

c. Selección de la sección transversal

Para seleccionar la sección transversal, se tomaron en cuenta las siguientes condiciones:

- No deben existir obstáculos sobre la corriente que alteren el paso del agua.
- Seleccionar una sección en la que las orillas del canal sean paralelas.

- Fondo estable.
- Evitar secciones con presencia de excesiva turbulencia.



*Figura 40: Sitio de aforo del río Mazar-Presa
Fuente: (Autores, 2015)*

Se tendió una cuerda sobre la corriente del río, señalando así la sección transversal. La cuerda debe permanecer amarrada firmemente a las márgenes u orillas del río, de manera que se evite cualquier desplazamiento de la misma.

d. Determinación de la velocidad:

Para la determinación de los puntos de medición de velocidad de la corriente, se realizaron diferentes marcaciones cada metro o medio metro (entre más ancho, mayor número de mediciones). Tomando como referencia la cuerda tendida sobre el río, se midió con la cinta métrica el ancho del mismo.

El número y espaciado entre los puntos de medición de la velocidad del agua dependen del fondo del río (fondo plano o fondo irregular), en nuestro caso los ríos tenían diferencias de profundidad, por lo que una vez establecidas las diferentes secciones en lo ancho de los ríos se procedió a tomar entre tres y cinco datos de velocidad y profundidad para cada sección de la corriente con el micromolinete, cuya hélice se colocó aguas arriba de la corriente para medir automáticamente el número de revoluciones en 30 segundos, datos que fueron cronometrados y registrados en un contador digital y que posteriormente fueron convertidos a velocidad de flujo.

e. Cálculo del caudal:

Para el cálculo del caudal se utilizó un formato de una hoja de Excel, en la cual se ingresaron los siguientes datos:

- Abscisa del punto (metros)
- Profundidad total medida (metros)
- Lecturas del contador digital (número de intervalos)

El programa transforma el número de intervalos en revoluciones por segundo para obtener la velocidad media (m/s) en cada distancia, mediante la aplicación de las ecuaciones de la hélice previamente establecidas por la marca fabricante. Al ingresar las abscisas y profundidades en cada punto se realiza el cálculo del área de la sección parcial (m^2/s); una vez obtenidos los datos de área y velocidad para cada sección, se procede a calcular los caudales parciales, que son sumados teniendo como resultados el caudal total (m^3/s) en dicha sección (Ver Anexo 3) (CELEC EP -HIDROPAUTE, 2015).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. VARIABILIDAD DEL ICA – NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG

3.1.1. Subcuenca del río Mazar

3.1.1.1. Variabilidad espacial y temporal del NSF

3.1.2. Subcuenca del río Pindilig

3.2.1.1. Variabilidad espacial y temporal del NSF

3.1.3. Comparación del ICA-NSF entre las subcuencas Mazar y Pindilig

3.2. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG

3.2.1. Correlación entre los caudales medidos y los valores del ICA – NSF

3.3. VARIABILIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

3.3.1. Subcuenca del río Mazar

3.3.1.1. Parámetros físicos

3.3.1.2. Parámetros de parámetros químicos

3.3.1.3. Parámetros de parámetros Microbiológicos

3.3.1.4. Análisis de variación de parámetros durante ocurrencia de derrumbe

3.3.2. Subcuenca del río Pindilig

3.3.2.1. Parámetros físicos

3.3.2.2. Parámetros químicos

3.3.2.3. Parámetros Microbiológicos

3.4. COMPARACIÓN DE LOS MUESTREOS REALIZADOS CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE

3.5. CARGA CONTAMINANTE

3.4.1. Carga Contaminante para la subcuenca del río Mazar

3.4.2. Carga Contaminante para la subcuenca del río Pindilig

3.1. VARIABILIDAD DEL ICA – NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG

Los resultados obtenidos se exponen mediante el uso de figuras y mapas que permiten visualizar de mejor manera la variabilidad de los índices de calidad (ICA-NSF) para los dos ríos estudiados.

Se obtuvieron los índices de calidad (Ver Tabla 8) a partir de los resultados entregados por el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca (Ver Anexo 4), los cuales indican los valores correspondientes a los 9 parámetros medidos en los 5 puntos de muestreo durante las 4 campañas de monitoreo.

Tabla 8: ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig por puntos de muestreo y campañas

PM	SITIO	MESES							
		Mayo		Junio		Septiembre		Noviembre	
		27-may	28-may	24-jun	25-jun	23-sep	24-sep	11-nov	12-nov
PM 1	Mazar Colepato A.J. Pallcayacu	83.79 Buena Calidad		74.74 Buena Calidad		88.56 Buena Calidad		87.36 Buena Calidad	
PM 2	Mazar (Presa) A.J. Paute	74.01 Buena Calidad		60.62 Mediana Calidad		75.01 Buena Calidad		80.2 Buena Calidad	
PM 3	Macas A.J. Dudas		83.96 Buena Calidad		71.85 Buena Calidad		79.88 Buena Calidad		78.23 Buena Calidad
PM 4	Dudas A.J. Macas		78.59 Buena Calidad		69.45 Mediana Calidad		81.18 Buena Calidad		71.11 Buena Calidad
PM 5	Pindilig A.J. Embalse Amaluza		76.66 Buena Calidad		66.87 Mediana Calidad		77.62 Buena Calidad		77.46 Buena Calidad

Nota. PM = Punto de Muestreo. Elaborado por: (Autores; 2015)

Se ha clasificado la calidad del agua en cada punto de muestreo según el criterio de uso para abastecimiento público, como se indica en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9: ICA-NSF por puntos de muestreo y campañas para abastecimiento público

Sitio	Meses	ICA	Uso: Abastecimiento Público
Mazar (Colepato) A.J. Pallcayacu	Mayo	83.79	Ligera purificación
	Junio	74.74	
	Septiembre	88.56	
	Noviembre	87.36	
Mazar (Presa) A.J. Paute	Mayo	74.01	Consumo dudoso sin purificación
	Junio	60.62	
	Septiembre	75.01	
	Noviembre	80.2	
Macas A.J. Dudas	Mayo	83.96	Ligera purificación
	Junio	71.85	
	Septiembre	79.88	
	Noviembre	78.23	
Dudas A.J. Macas	Mayo	78.59	Consumo dudoso sin purificación
	Junio	69.45	
	Septiembre	81.18	
	Noviembre	71.11	
Pindilig A.J. Embalse Amaluza	Mayo	76.66	Consumo dudoso sin purificación
	Junio	(66.87)	
	Septiembre	77.62	
	Noviembre	77.46	

Nota: Elaborado por: (Autores, 2015)

Los resultados obtenidos se han dividido para su análisis en dos grupos: el primer grupo para la subcuenca del río Mazar, y el otro grupo que corresponde a los resultados de la subcuenca del río Pindilig.

3.1.1. Subcuenca del río Mazar

3.1.1.1. Variabilidad espacial y temporal del ICA - NSF

Los ICA - NSF calculados en la cuenca media y baja del río Mazar, presentan una variación espacial y temporal que se puede evidenciar en las siguientes figuras:

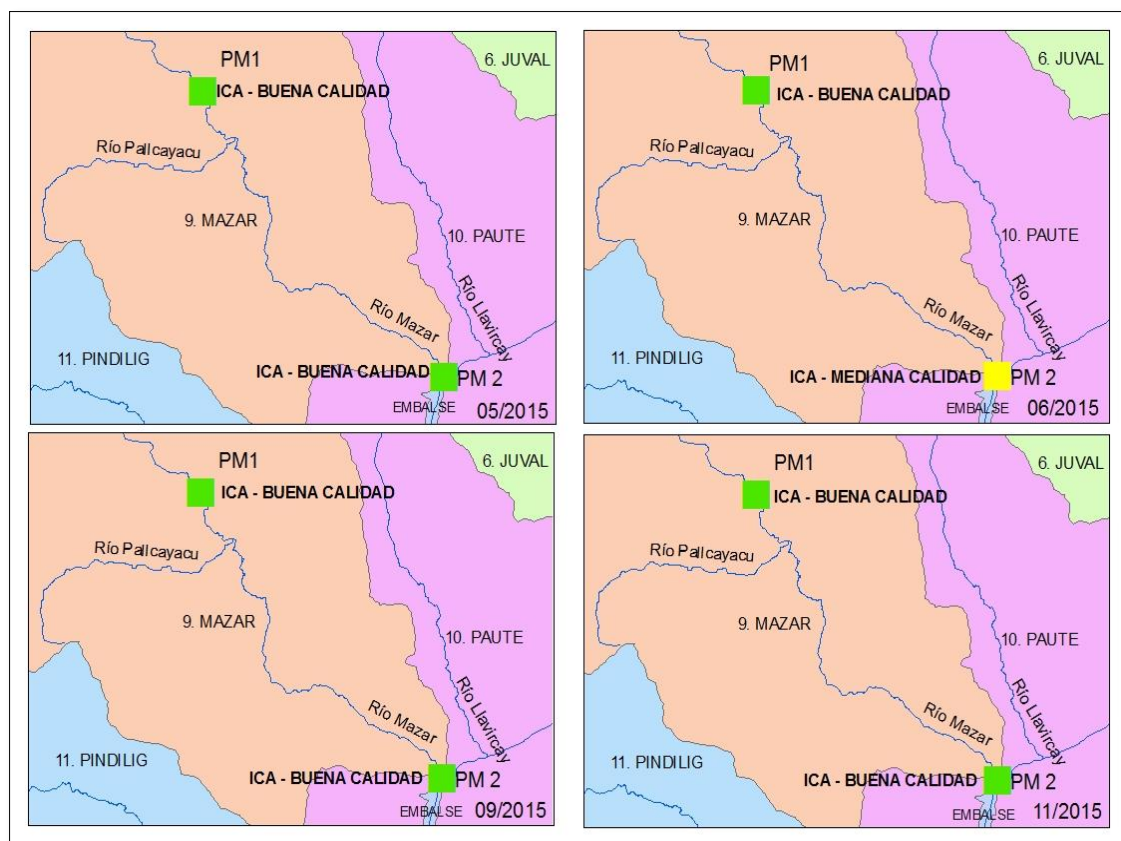


Figura 41: Variabilidad espacial del ICA - NSF – Mazar
Elaborado por: (Autores, 2015)

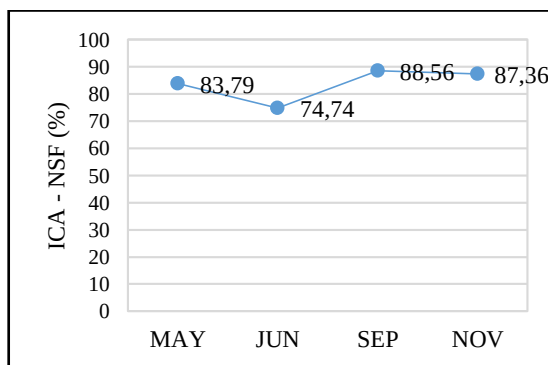


Figura 42: Variación temporal del ICA NSF - Mazar (Colepato)
Elaborado por: (Autores, 2015)

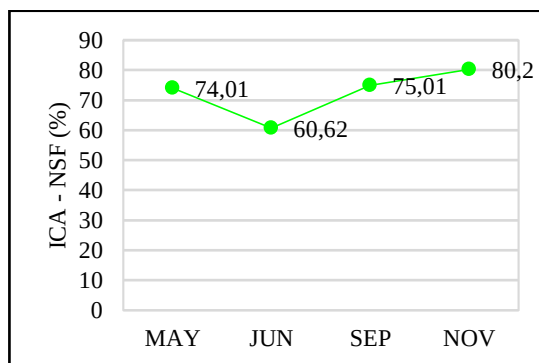


Figura 43: Variación temporal del ICA NSF - Mazar (Colepato)
Elaborado por: (Autores, 2015)

En las Figuras 42 y 43 se indican los valores del ICA - NSF, para las 4 campañas de monitoreo; se puede observar en los dos puntos de muestreo una caída del índice en el mes de Junio, correspondiente a la época de invierno, así también los valores del ICA- NSF en la zona de Colepato y en el sitio de la Presa se incrementan durante los meses de Septiembre y Noviembre, correspondientes a la época veraniega en la zona de estudio. El análisis de dicha variabilidad será profundizada más adelante.

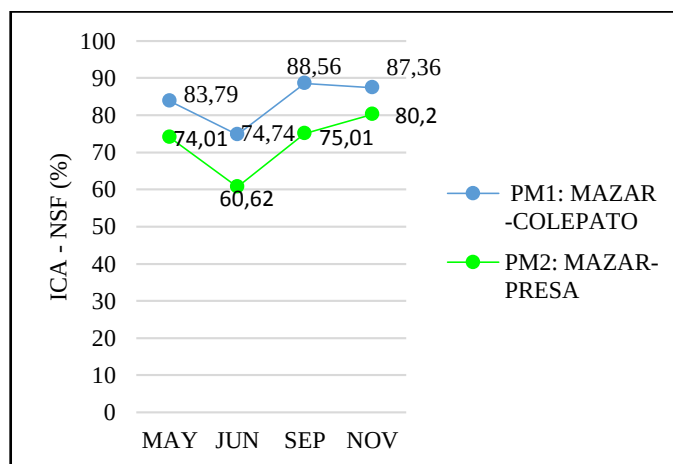


Figura 44: Comparación temporal y espacial del INSF - Mazar (Colepato - Presa)
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se ha realizado una comparación temporal y espacial entre los ICA - NSF de Colepato y Sitio de la Presa (Ver Figura 44), correspondientes a la cuenca del río Mazar, pudiendo observarse que la zona de Colepato presentan valores mayores, por la tanto una mejor calidad del agua, a los correspondientes del sitio de la presa durante todas las campañas de muestreo.

3.1.2. Subcuenca del río Pindilig

3.1.2.1. Variabilidad espacial y temporal del ICA - NSF

Los ICA - NSF calculados en la cuenca media (ríos Macas y Dudas) y cuenca baja del río Pindilig, presentan una variación espacial y temporal que se puede evidenciar en las siguientes figuras y mapas:

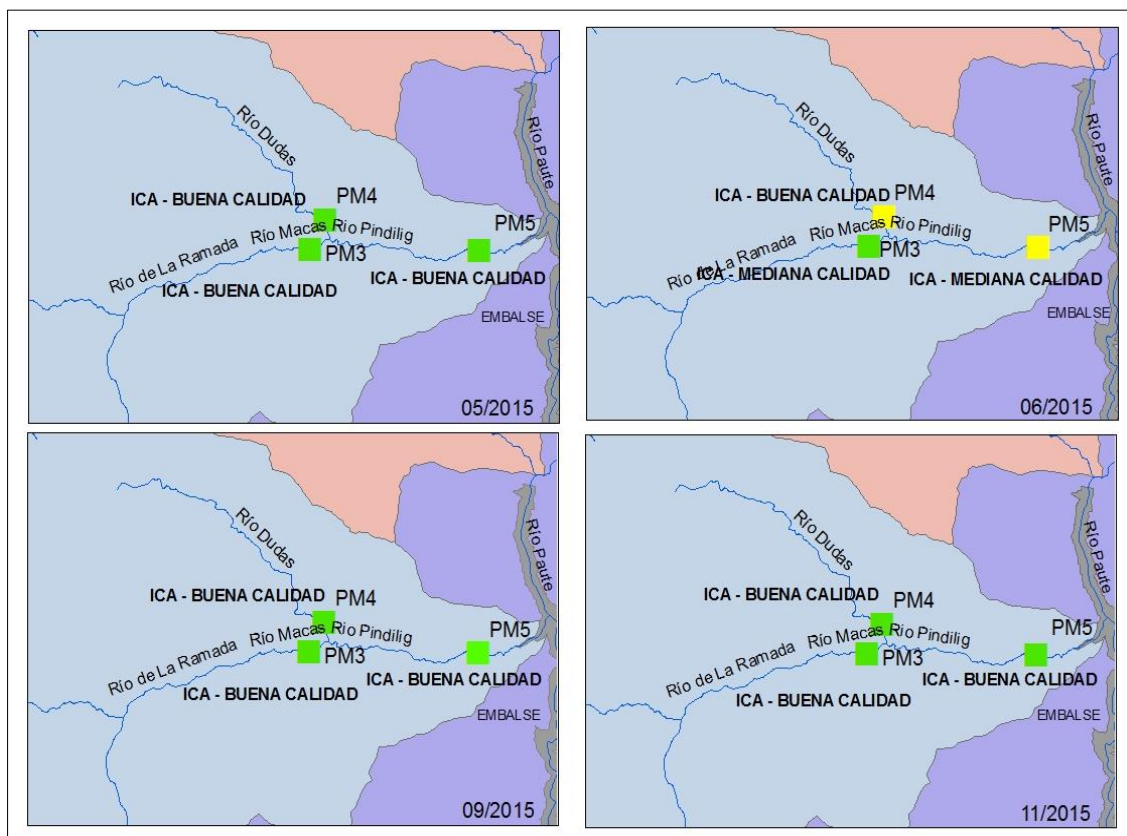


Figura 45: Variabilidad espacial del ICA NSF – Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

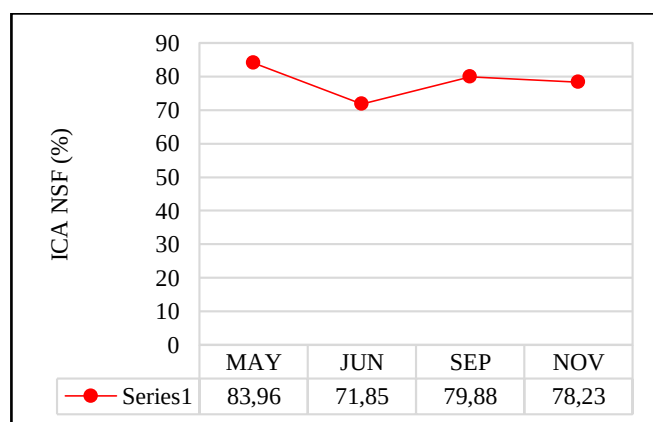


Figura 46: Variación temporal INSF – Macas
Elaborado por: (Autores, 2015)

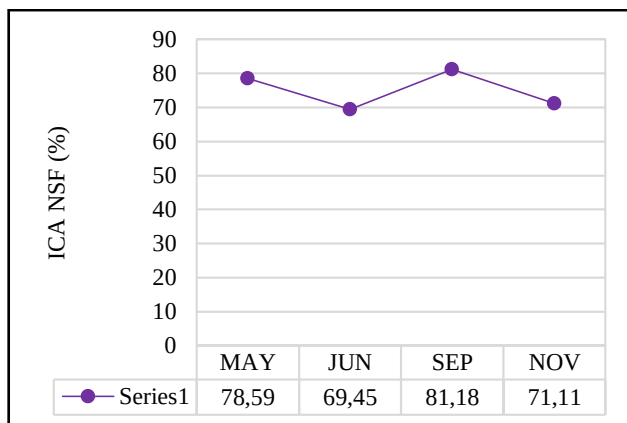


Figura 47: Variación temporal INSF – Dudas
Elaborado por: (Autores, 2015)

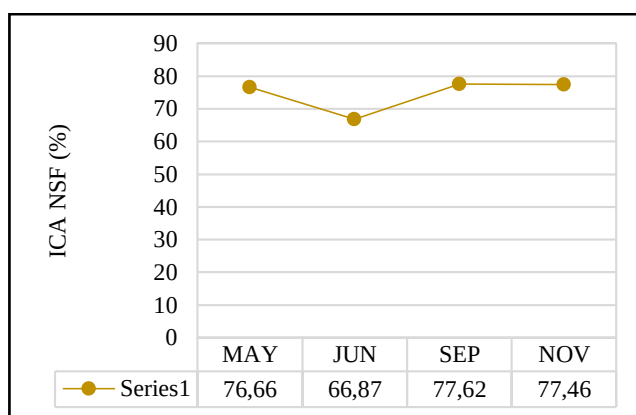


Figura 48: Variación temporal INSF – Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se puede observar una caída del índice para los tres puntos de muestreo en el mes de Junio, correspondiente a la época de invierno; en el caso del río Macas el mayor valor para el ICA fue en el mes de Mayo (Ver Figura 46), así también para el caso de los ríos Dudas y Pindilig, estos presentan los índices mayores durante los meses de Septiembre y Noviembre, correspondientes a la época de verano (Ver Figuras 47 y 48). El análisis de dicha variabilidad será profundizada más adelante.

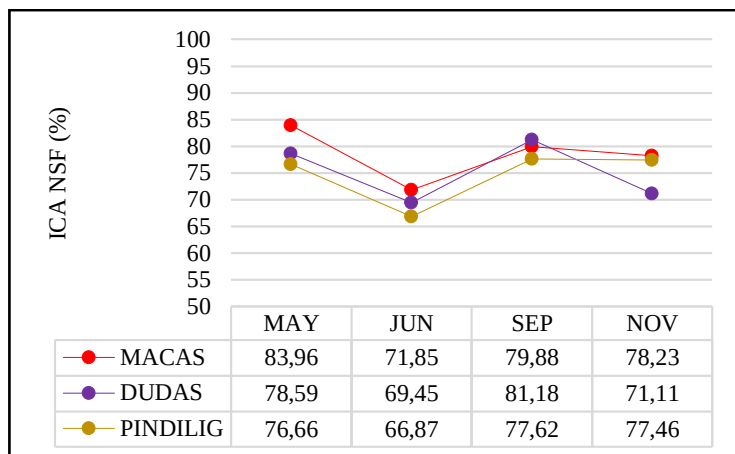


Figura 49: Comparación temporal y espacial INSF Macas – Dudas – Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se ha realizado una comparación temporal y espacial entre los ICA - NSF de los ríos Macas, Dudas y Pindilig (Ver Figura 49), correspondientes a la subcuenca del Pindilig, en el cual se observa que durante el mes de Mayo y Junio (época invernal) el río Macas presenta una mejor calidad del agua, seguido del río Dudas y con los valores más bajos el río Pindilig. Durante la época de verano, en el mes de septiembre el mayor valor del índice corresponde al río Dudas, seguido del río Macas y el río Pindilig; para el mes de Noviembre el río Macas nuevamente tiene una mejor calidad, seguido del Pindilig y el río Dudas. De forma general se puede decir que el río Macas presenta una mejor calidad del agua, respecto al río Dudas y Pindilig.

3.1.3. Comparación del ICA-NSF entre las subcuencas Mazar y Pindilig

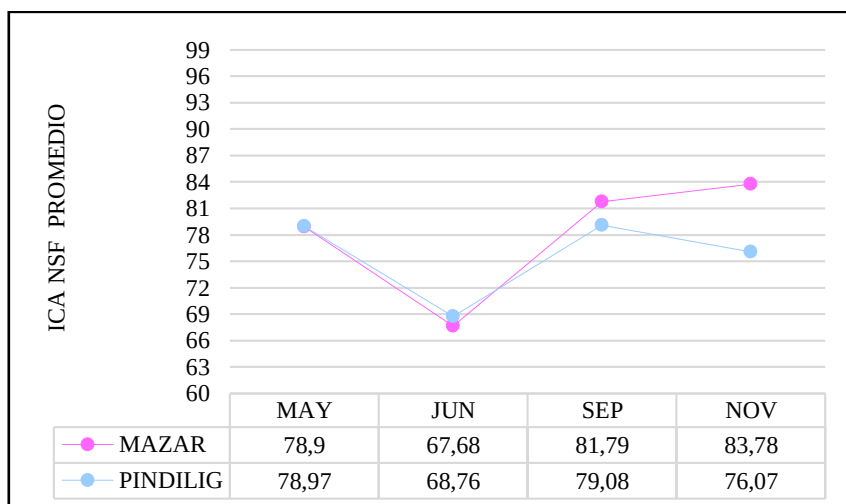


Figura 50: Comparación temporal y espacial del ICA - NSF entre las subcuencas Mazar y Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para la subcuenca del río Mazar se han promediado los valores del ICA – NSF de la zona de Colepato y sitio de la Presa, así también se han promediado los valores de los ríos Macas y Dudas obteniendo el promedio del ICA - NSF para la cuenca media que luego ha sido promediada con el índice de la cuenca baja (Pindilig), obteniendo así un ICA – NSF promedio para la subcuenca del río Pindilig.

En la gráfica se puede observar que en el mes de Mayo tanto el río Mazar como Pindilig, presentan la misma calidad del agua; en el mes de Junio (época invernal) se produce una disminución de los índices presentando Pindilig una mejor calidad que Mazar. Durante la época de verano (Septiembre – Noviembre) el río Mazar presenta una mejor calidad del agua que el río Pindilig.

3.2. VARIACIÓN DEL CAUDAL

A continuación se presentan los valores de los caudales medidos en cada punto de muestreo de los ríos Mazar y Pindilig durante todas las campañas de monitoreo (Ver Tabla 10).

Tabla 10: Caudales medidos de los ríos Mazar y Pindilig por puntos de muestreo y campañas

PUNTO MUESTREO	SITIO	CAUDALES							
		Mayo		Junio		Septiembre		Noviembre	
		27-may	28-may	24-jun	25-jun	23-sep	24-sep	11-nov	12-nov
PM1	Mazar (Colepato)	3.02		7.83		2.08		2.1	
	A.J.	m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s	
PM2	Pallcayacu Mazar (Presa)	5.7		14.72		4.11		4.04	
	A.J. Paute	m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s	
PM3	Macas		2.73		5.10		1.03		1.16
	A.J. Dudas		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s
PM4	Dudas A.J.		3.5		6.63		1.37		1.73
	Macas		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s
PM5	Pindilig A.J.		6.48		12.1		2.54		3.49
	Embalse Amaluza		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015)

Como se puede observar es notoria la variación que presentan los caudales a lo largo de los meses en que fueron medidos.

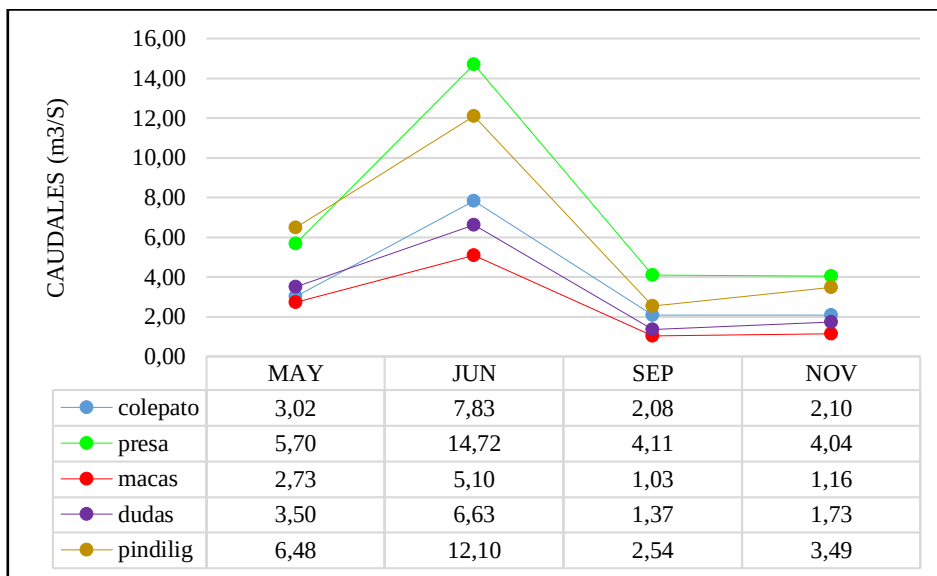


Figura 51: Variación de los caudales durante las campañas de monitoreo
Elaborado por: (Autores, 2015)

El río Mazar en el sitio de la presa presenta mayores caudales; mientras que el río Macas presenta los caudales más bajos, durante todos los meses de monitoreo.

En los meses de Mayo y Junio (época invernal) se presentan valores más altos de caudales para todos los puntos de muestreo, es importante mencionar que en el mes de Junio se registró el valor máximo de precipitaciones, así como los caudales más altos, lo cual coincide con la base de datos del Plan Maestro de la cuenca del río Paute (2009) para los valores de precipitación referenciales comprendidos entre el periodo 1965-1992, así también con los datos referenciales respecto al régimen de caudales para los ríos Mazar y Pindilig.

3.2.1. Correlación entre los caudales medidos y los valores del ICA – NSF

En las siguientes gráficas se representa la tendencia de cambio del ICA - NSF con respecto a los caudales medidos en los 5 puntos de muestreo correspondientes a la estación lluviosa y seca.

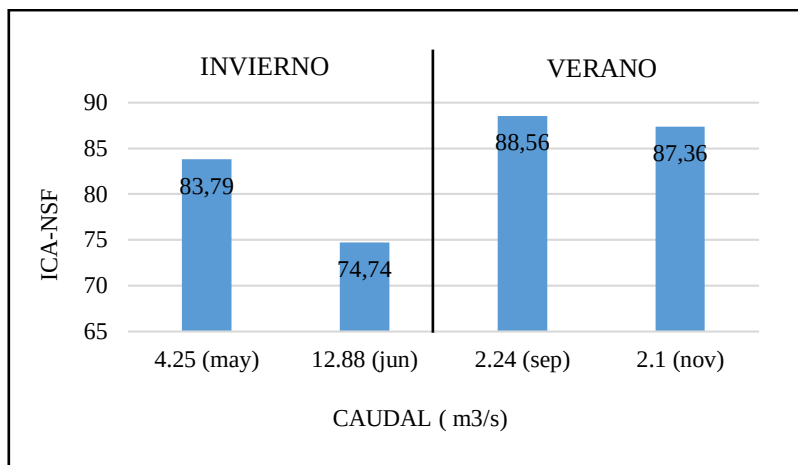


Figura 52: Correlación entre los caudales medidos y los valores del INSF para Mazar – Colepato
Elaborado por: (Autores, 2015)

En la Figura 52 se puede observar que para el punto 1 de muestreo (Colepato) existe una mejor calidad del agua durante la época de verano, en la cual se registraron los caudales más bajos (Septiembre y Noviembre); mientras que el índice disminuye con respecto a los caudales más altos medidos (Mayo y Junio).

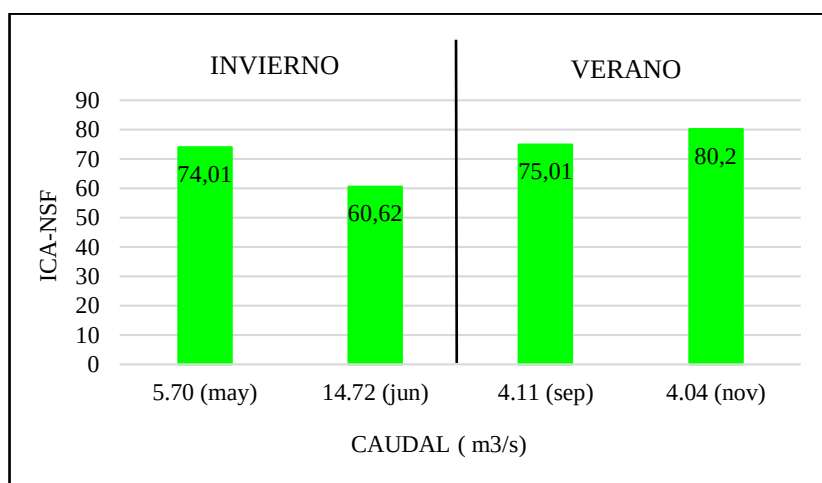


Figura 53: Correlación entre los caudales medidos y los valores del INSF para Mazar – Presa
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para el punto 2 (Presa) existe una mejor calidad del agua durante los caudales bajos (Septiembre y Noviembre); el índice disminuye en el mes de Junio (caudales altos).

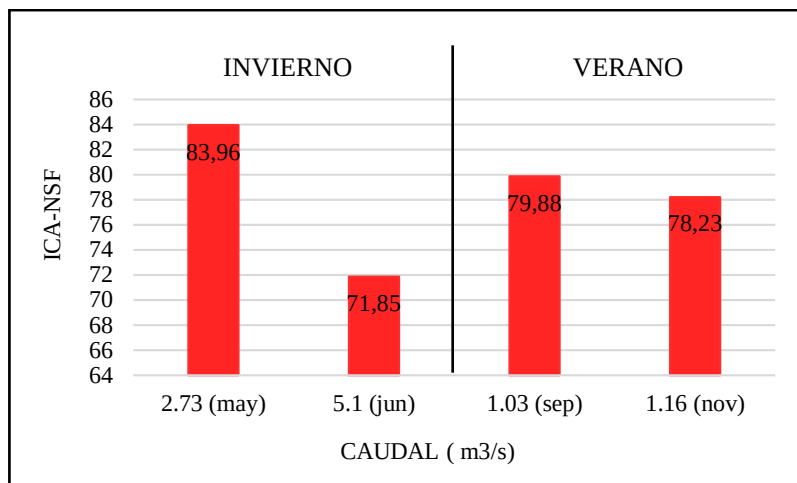


Figura 54: Correlación entre los caudales medidos y los valores del ICA – NSF para el río Macas
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para el punto 3 (Macas) existe una mejor calidad del agua en el mes de Mayo, mes de transición para la época invernal (caudal medio), seguido del mes de Septiembre y Noviembre (caudales bajos), así también el índice disminuye en el mes de Junio (caudales altos).

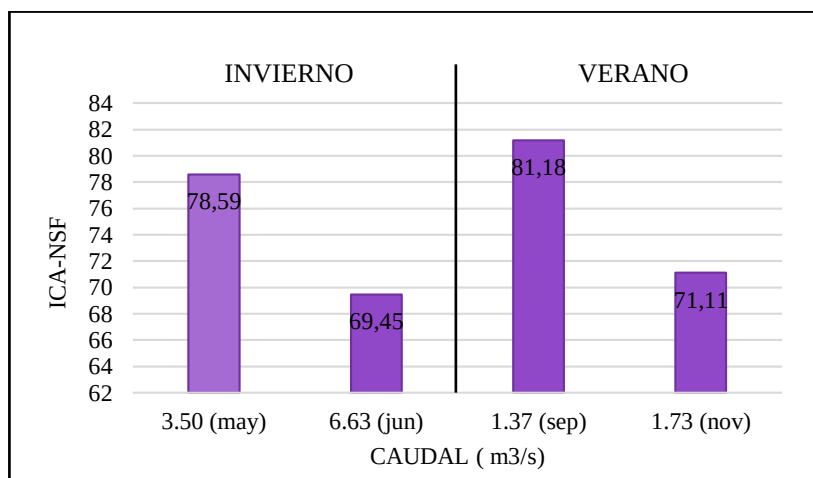


Figura 55: Correlación entre los caudales medidos y los valores del INSF para el río Dudas
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para el punto 4 (Dudas) existe una mejor calidad del agua en el mes de Septiembre (caudales bajos), seguido del mes de Mayo (caudales medios), así también el índice disminuye en los meses de Noviembre (caudales bajos) y Junio (caudales altos).

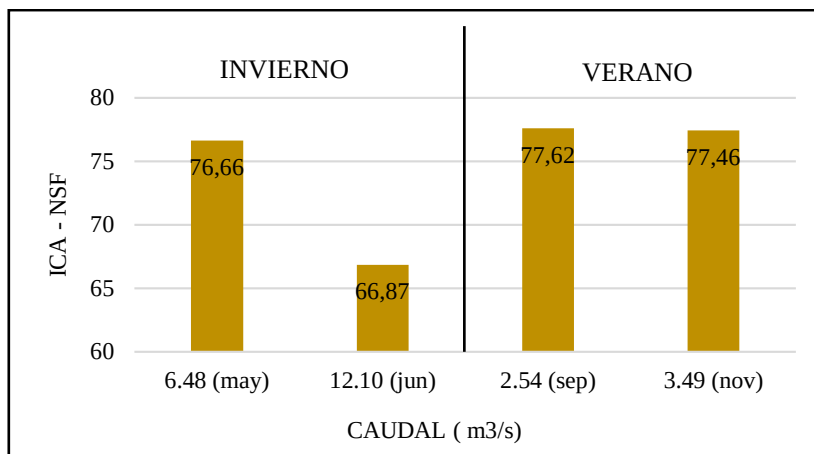


Figura 56: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para el río Pindilig
Elaborado por: (Autores, 2015)

Para el punto 5 (Pindilig) existe una mejor calidad del agua en el mes de Septiembre y Noviembre (caudales bajos), seguido del mes de Mayo (caudal medio) disminuyendo su calidad en el mes de Junio (caudales altos).

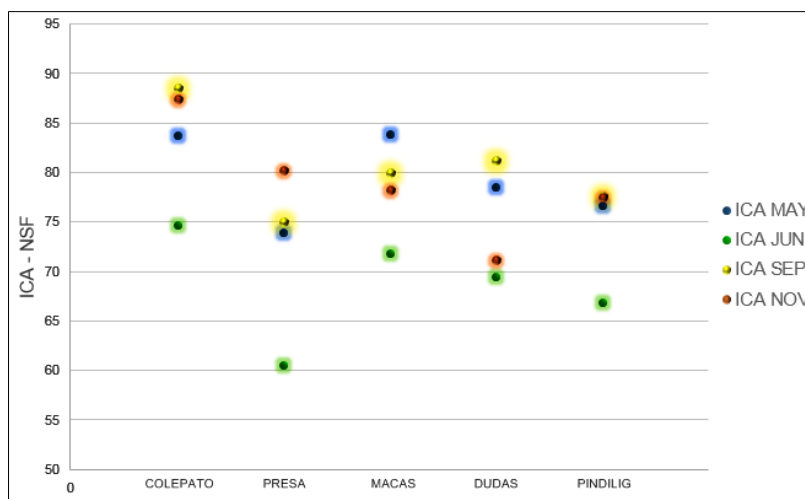


Figura 57: Correlación entre los caudales medidos y los valores del NSF para los 5 puntos de muestreo
Elaborado por: (Autores, 2015)

En la Figura 57 se puede observar que en general el agua presenta buena calidad en todos los puntos a lo largo de todo el período de muestreo, excepto en el mes de Junio, donde existe una caída de los índices de los ríos Mazar (sitio de la presa), Dudas y Pindilig. Lo cual es curioso debido a que en la época invernal la dilución de contaminantes se eleva por la presencia de mayor caudal, incrementando la calidad del agua; en nuestro caso dicho criterio no se cumple, esto podría atribuirse a que el aumento de las precipitaciones produjo escorrentías fuertes que ocasionaron el arrastre de contaminantes de la cuenca de drenaje, principalmente el arrastre de sedimentos.

3.3. VARIABILIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Para una mejor interpretación de los valores obtenidos para los ICA – NSF de los ríos Mazar y Pindilig se ha realizado un análisis de los resultados de los parámetros muestreados. Para ello se han utilizado gráficas que relacionan la variabilidad espacial y temporal entre los puntos de muestreo para cada río durante toda la campaña de monitoreo, así también para ciertos parámetros se han establecido relaciones entre las concentraciones y los caudales.

3.3.1. Subcuenca del río Mazar

3.3.1.1. Parámetros físicos

- **Temperatura**

La Figura 58 indica los datos de temperatura para los 2 puntos de muestreo durante todo el periodo de monitoreo. En ella se aprecia una variación espacial debido al incremento de la temperatura del agua desde la zona de Colepato hasta el sitio de la Presa, lo cual es consistente con la temperatura del ambiente, que aumenta con el transcurso de las horas del día. También se puede observar una variación temporal con el incremento de temperatura para ambos puntos, desde la época invernal hasta la de verano.

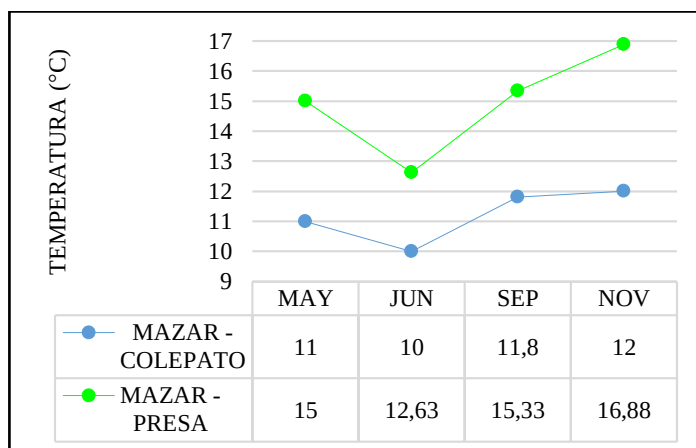
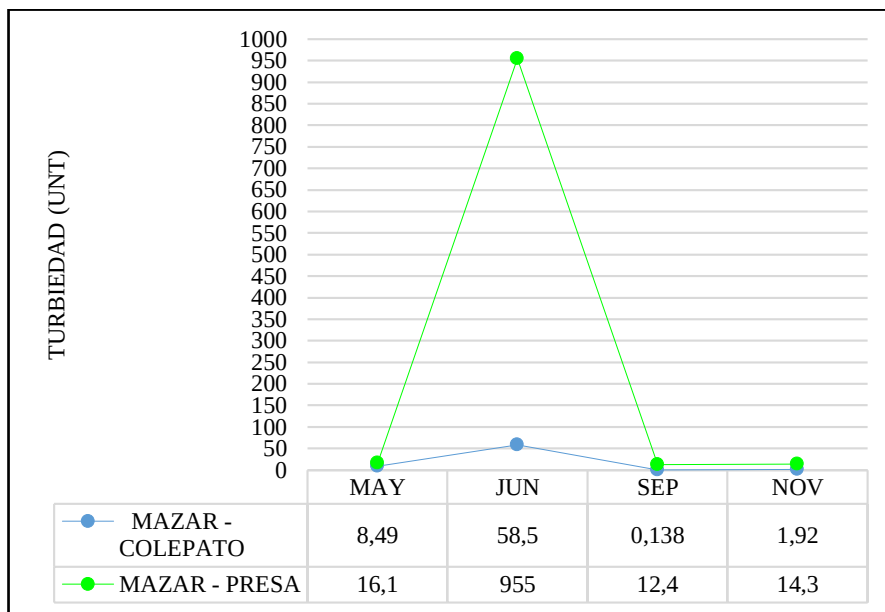


Figura 58: Variación espacial y temporal de la temperatura
Elaborado por: (Autores, 2015)

- **Turbiedad**

En la Figura 59 se muestran los niveles determinados para la turbiedad del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 0.138 y 58.5 NTU, que son valores moderados de turbiedad. En el sitio de la Presa los valores están entre 12.4 y 955 NTU, en este caso el valor máximo de turbiedad se presenta en el mes de junio (época invernal).



*Figura 59: Variación espacial y temporal de la turbiedad del río Mazar
Elaborado por: (Autores, 2015)*

Se puede observar que durante todos los meses de muestreo la zona de Colepato presenta valores de turbiedad menores a los correspondientes al sitio de la Presa, esto se debe a que se encuentra en la cuenca media, zona mejor conservada y con poca intervención antrópica.

También se observa que los valores más altos de turbiedad para Colepato y la Presa se producen en la época invernal (Junio). Es importante mencionar que durante este mes se registraron las precipitaciones más altas, razón por la cual en el sitio de la Presa se presentó un valor de 955 NTU, debido al arrastre de partículas sólidas ocasionadas por gran cantidad de derrumbes y deslizamientos que se presentaron en esta zona.

3.3.1.2. Parámetros químicos

- pH

En la figura 60 se muestra los niveles determinados para el pH del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 7.67 y 8.2, mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 7.34 y 8.19.

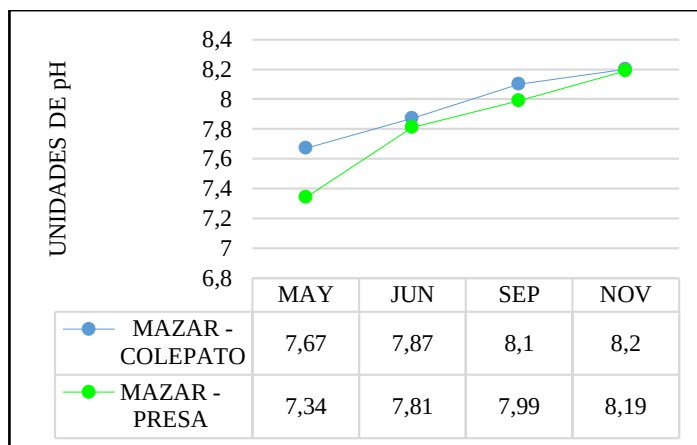


Figura 60: Variación espacial y temporal del pH del río Mazar
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se puede observar que durante todos los meses de muestreo la zona de Colepato presenta valores de pH mayores a los correspondientes al sitio de la Presa; así también los rangos más altos de pH se presentan durante la época de verano, esto puede deberse a la variabilidad del régimen de lluvias; de manera general dichos rangos para las dos zonas no presentan variaciones grandes.

- Fosfatos

En la figura 61 se muestra los niveles determinados para la concentración de fosfatos del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 0.025 y 0.83 mg de PO_4^{3-} , mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 0.46 y 7.94 mg de PO_4^{3-} , en este caso el valor máximo se presenta en el mes de junio (época invernal).

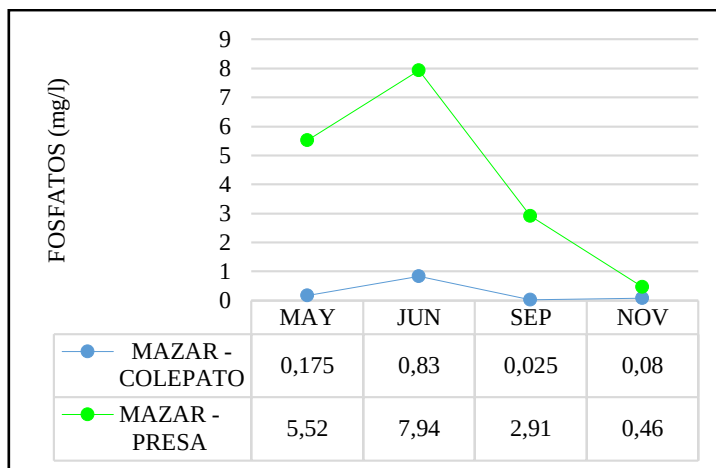


Figura 61: Variación espacial y temporal de fosfatos del río Mazar
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que durante todos los meses de muestreo, existe un aumento de las concentraciones de los fosfatos en el sitio de la Presa, esto se debe a que aguas abajo de Colepato las actividades agrícolas y ganaderas se intensifican debido a que existe mayor cantidad de población. Es importante mencionar que durante el mes de junio se registraron las precipitaciones más altas, por lo que contribuyó a que exista un arrastre acelerado y en grandes concentraciones de productos agrícolas, excrementos del ganado, entre otros.

• Nitratos

En la Figura 62 se muestra los niveles determinados para la concentración de nitratos del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 0.097 y 0.246 mg de NO_3^- , mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 0.111 y 0.35 mg de NO_3^- .

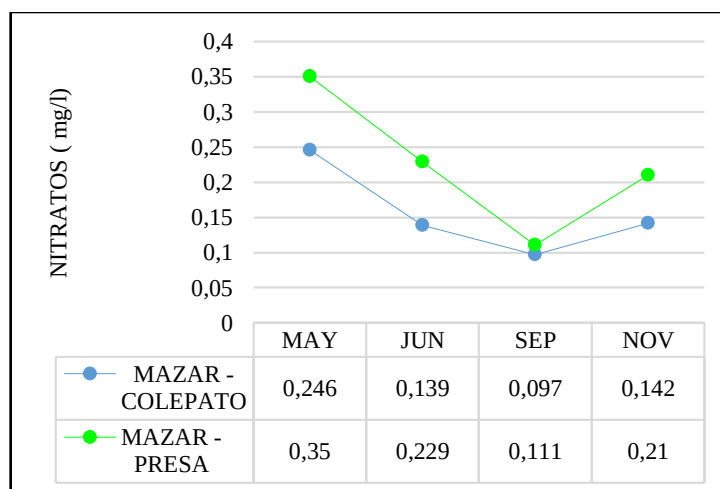


Figura 62: Variación espacial y temporal de nitratos del río Mazar
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que durante todos los meses de muestreo, existe un aumento de las concentraciones de los nitratos en el sitio de la Presa, cuyo origen se relaciona con el aumento de las concentraciones de los fosfatos explicados en la Figura 62. Durante el mes de Mayo se registraron los valores más altos en ambos puntos de muestreo, esto pudo deberse a aportaciones de este ion por actividades antrópicas como colocación de fertilizantes y estiércol en los sembríos.

- **Sólidos Disueltos Totales**

En la Figura 63 se muestra los niveles determinados para la concentración de sólidos disueltos totales del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 64 y 86 mg/l, mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 75 y 277 mg/l.

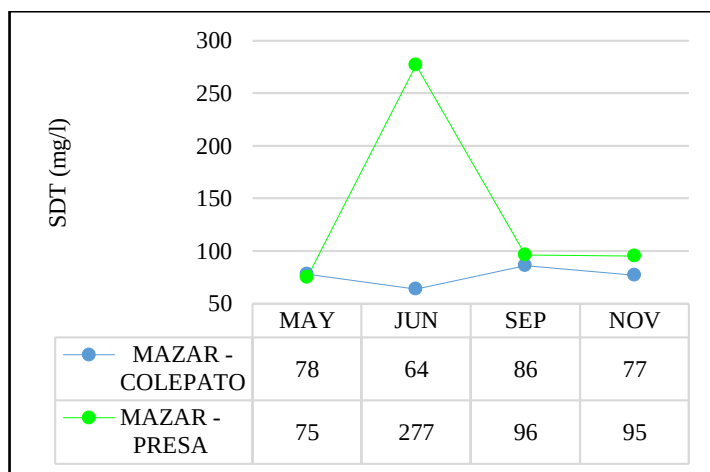


Figura 63: Variación espacial y temporal de SDT del río Mazar
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se observa que durante todos los meses de muestreo, existe un aumento de las concentraciones de los SDT en el sitio de la Presa, esto se debe a que aguas abajo de Colepato existen proyectos en construcción y zonas vulnerables a deslizamientos. Durante el mes de junio se registró el valor más alto en el sitio de la Presa (277 mg/l) esto debido a las altas precipitaciones que ocasionaron procesos fuertes de escorrentía, y consecuente arrastre de sedimentos.

- **Oxígeno Disuelto**

En la Figura 64 se muestra los niveles determinados para la concentración de oxígeno disuelto del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 8.1 y 8.9 mg/l, mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 7.89 y 9.44 mg/l.

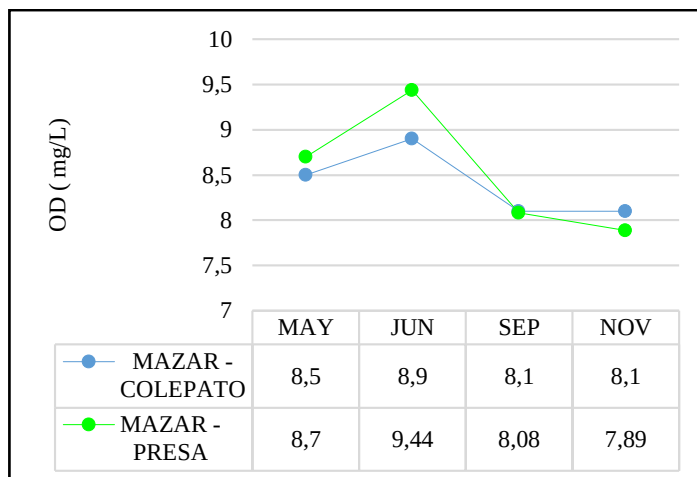


Figura 64: Variación espacial y temporal del OD del río Mazar
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se observa que durante los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre los valores de oxígeno disuelto son aproximados en ambos puntos, mientras que en el mes de Junio el sitio de la Presa presenta valores mayores de oxígeno disuelto que en Colepato, esto debido a las altas precipitaciones registradas que producen mayores turbulencias, generando así un oxigenamiento del agua.

• Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la figura 65 se indica los niveles determinados para la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 0.38 y 0.79 mg/l, mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 0.33 y 2.14 mg/l.

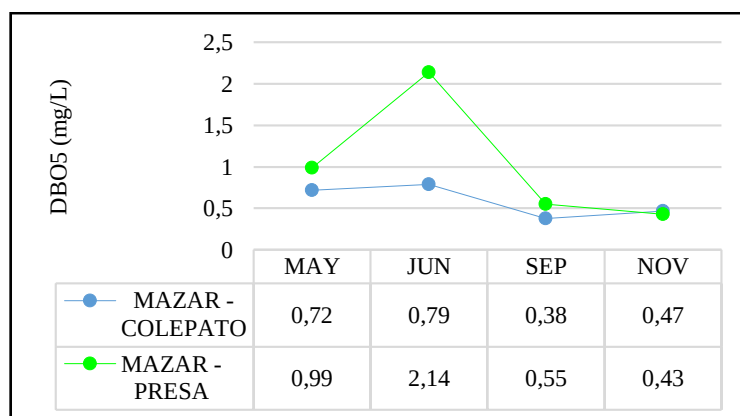


Figura 65: Variación espacial y temporal de la DBO5 del río Mazar
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se observa que durante todos los meses la DBO₅ del sitio de la Presa es mayor a los registrados en Colepato, esto puede deberse a los aportes de las aguas residuales

domésticas de las comunidades ubicadas a lo largo del tramo de estudio del río Mazar. En el mes de Junio se presentan los valores más altos para los dos puntos, esto se relaciona debido al efecto de arrastre de la materia orgánica, dado que en este mes se registró el pico más alto de precipitaciones.

3.3.1.3. Parámetros microbiológicos

- **Coliformes Fecales (*E.Coli*)**

En las Figuras 66 y 67 se indican los niveles determinados para las concentraciones de coliformes fecales (*E.Coli*) del río Mazar, para el caso de Colepato los valores están entre 33 y 200 NMP/100 ml, mientras que en el sitio de la Presa los valores están entre 140 y 68000 NMP/100 ml.

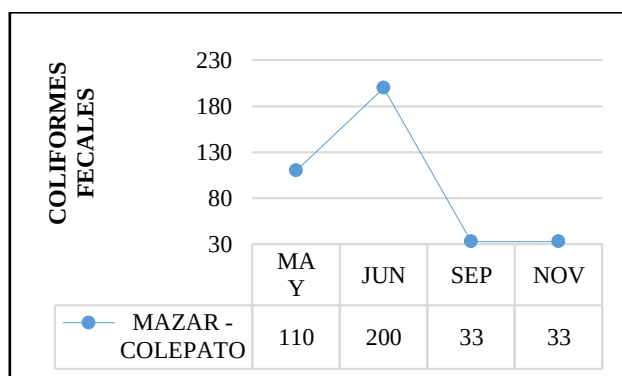


Figura 66: Variación espacial y temporal de coliformes fecales en Mazar – Colepato
Elaborado por:(Autores, 2015)

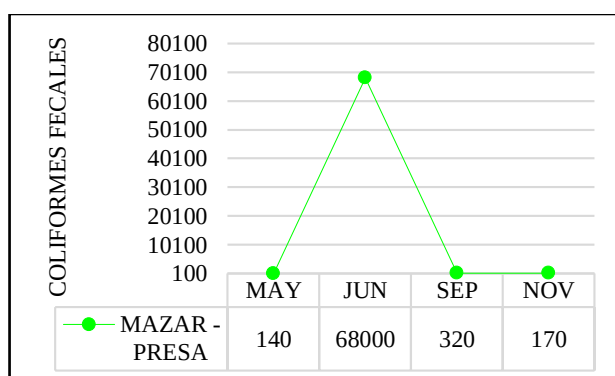


Figura 67: Variación espacial y temporal de los coliformes fecales en Mazar – Presa
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que durante todos los meses las concentraciones de coliformes fecales en Colepato son menores a las correspondientes del sitio de la Presa, esto se atribuye a que la calidad del agua va disminuyendo desde la cuenca media hasta la cuenca baja,

debido a que a lo largo del tramo de estudio existen comunidades ubicadas en las riberas del río que descargan sus aguas residuales sin tratamiento alguno.

Los valores mayores tanto para Colepato y el sitio de la Presa se dan en el mes de Junio, mes con altas precipitaciones, se atribuye el aumento de coliformes fecales debido a que existe una relación con los valores de turbiedad, ya que al tener mayor cantidad de partículas en suspensión, el proceso de desinfección es menor, por lo que dichas partículas protegen a los microorganismos y estimulan la proliferación de bacterias.

3.3.1.4. Análisis de variación de parámetros durante ocurrencia de derrumbe.

Caso puntual.- Durante el monitoreo del sitio de la Presa desarrollado el día 23 de Septiembre de 2015 (10h00 -14:30), cuyas condiciones climáticas fueron de época veraniegas, se presentó una fuerte precipitación en la zona al momento de tomar la última muestra (14h30), con una duración de aproximadamente media hora. Razón por la cual se tuvo que analizar por separado como una muestra puntual la última muestra tomada, los parámetros analizados fueron: Turbiedad, DBO_5 y Sólidos Suspendedos y Sólidos Disueltos Totales.

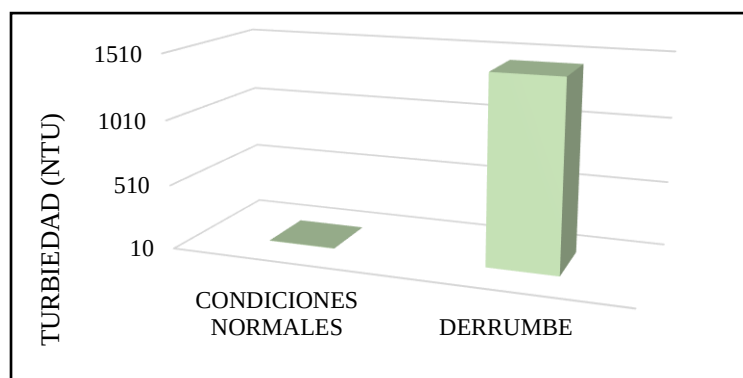


Figura 68: Variación de la turbiedad
Elaborado por: (Autores, 2015)

En la Figura 68 se puede observar una drástica subida del valor de la turbiedad de 12.4 a 1447 NTU, debido a la ocurrencia del derrumbe. Se consideran condiciones normales a los valores registrados antes de la ocurrencia del derrumbe.

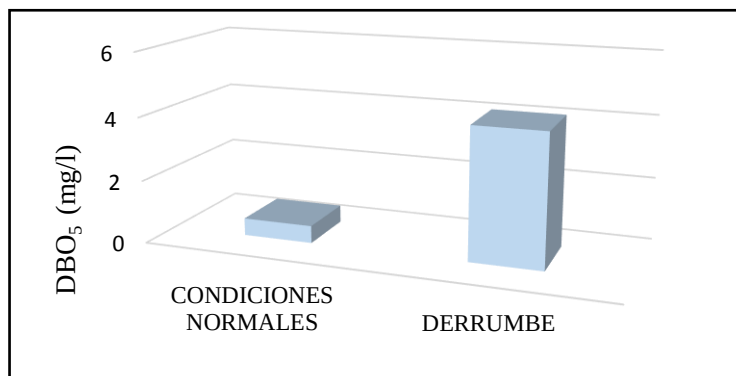


Figura 69: Variación de la DBO₅
Elaborado por: (Autores, 2015)

La Figura 69, indica un incremento de los valores de la DBO₅ de 0.55 a 4.17 mg/l.

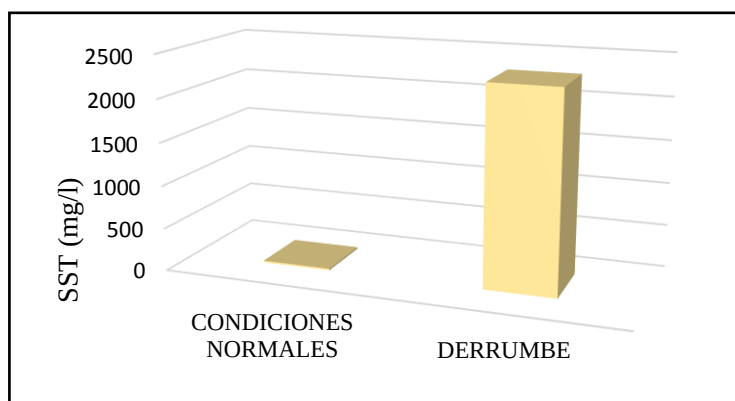


Figura 70: Variación de los SST
Elaborado por: (Autores, 2015)

En la Figura 70, se puede observar un significativo incremento del valor de sólidos suspendidos totales de 19 a 2 306 mg/l.

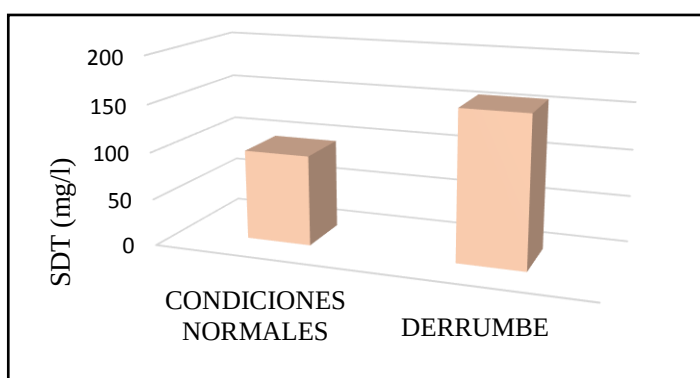


Figura 71: Variación de los SDT
Elaborado por: (Autores, 2015)

La Figura 71 la muestra tomada presentó un incremento poco significativo de 96 a 158 mg/l de sólidos disueltos totales.

Se han analizado los siguientes factores, al ser considerados como críticos, en caso de existir una crecida durante el tiempo de monitoreo. El análisis refleja que el grado de deterioro que experimenta la subcuenca es alto, debido a que en un corto periodo de tiempo se presenta una subida drástica de los valores, principalmente de los sólidos suspendidos, que son aquellos de naturaleza inorgánica (arenas, arcillas, etc.) originados por el arrastre de sedimentos, debido a las condiciones de deterioro que se presentan los suelos cercanos al punto de muestreo.

3.3.2. Subcuenca del río Pindilig

3.3.2.1. Parámetros físicos

- **Temperatura**

La Figura 72 indica los datos de temperatura para los 3 puntos de muestreo durante todo el período de monitoreo. En ella se puede apreciar una variación espacial debido al incremento de la temperatura del agua en el mes de Mayo, desde la zona del río Macas, Dudas hasta el río Pindilig, lo cual es consistente con la temperatura ambiente, que aumenta con el transcurso de las horas del día.

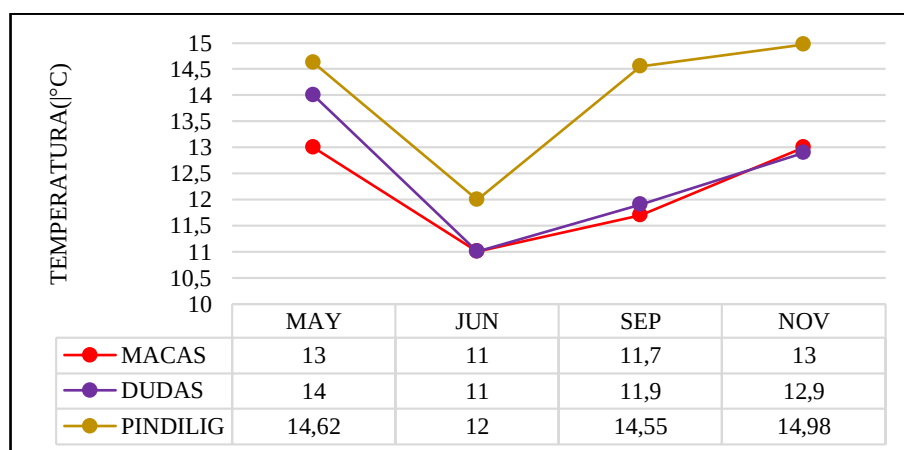
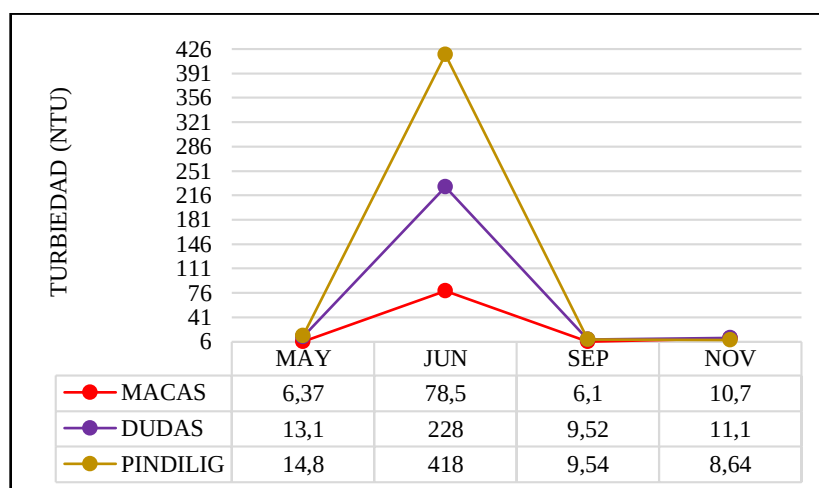


Figura 72: Variación espacial y temporal de la temperatura
Elaborado por: (Autores, 2015)

- **Turbiedad**

En la Figura 73 se muestran los niveles determinados para la turbiedad en la subcuenca del río Pindilig, para el caso del río Macas, los valores están entre 6.1 y 78.5 NTU. En el río Dudas los valores están entre 9.52 y 228 NTU. Mientras que el río Pindilig presenta valores de turbiedad entre 8.64 y 418 NTU, cuyos valores son relativamente altos; así también se puede destacar que los valores máximos de turbiedad se presenta en el mes de Junio (época invernal), para los tres ríos.

Es importante mencionar que durante el mes de Junio se registraron las precipitaciones más altas, razón por la cual en los ríos Macas, Dudas y Pindilig se registraron valores de 78.5, 228 y 418 NTU respectivamente, esto debido al arrastre de partículas sólidas ocasionadas por gran cantidad de derrumbes y deslizamientos presentes durante los muestreos.



*Figura 73: Variación espacial y temporal de la turbiedad
Elaborado por:(Autores, 2015)*

3.3.2.2. Parámetros Químicos

- **pH**

En la Figura 74 se muestra los niveles determinados del pH, en el caso del río Macas los valores están entre 7.46 y 7.98, en el río Dudas los valores están entre 7.27 y 8.16, mientras que en el río Pindilig los valores se encuentran entre 7.35 y 8.18.

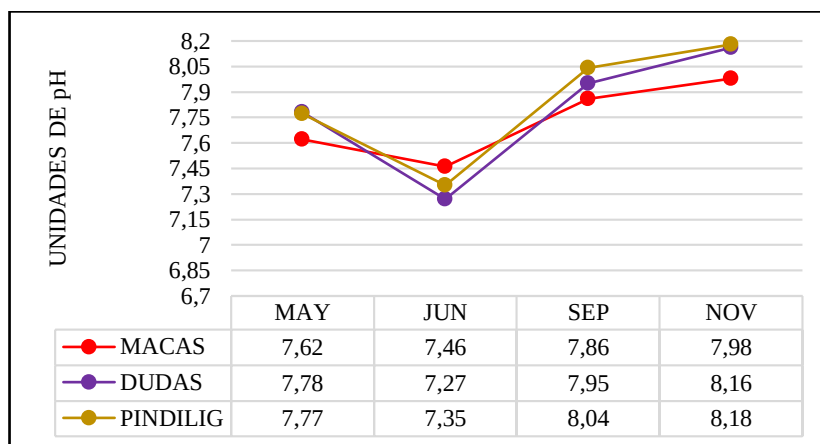


Figura 74: Variación espacial y temporal del pH
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se puede observar que en el mes de noviembre se registraron los valores de pH más altos; correspondientes a la época de verano, esto puede deberse a la variabilidad del régimen de lluvias; de manera general dichos rangos no presentan variaciones grandes en el caso de los tres ríos y se mantienen dentro del rango de 6 a 9 unidades.

- **Fosfatos**

En la Figura 75 se observan los niveles determinados para la concentración de fosfatos, en el caso del río Macas los valores están entre 0.186 y 2.991 mg/l de PO_4^{3-} , en el río Dudas los valores están entre 0.204 y 3.14 mg/l de PO_4^{3-} , mientras que el río Pindilig registra valores entre 0.249 y 8.04 PO_4^{3-} ; se puede inferir también que el valor máximo se presenta en el mes de junio (época invernal), en el caso de los ríos Macas y Pindilig; mientras que para el caso del río Dudas su máximo valor se presenta en el mes de Noviembre.

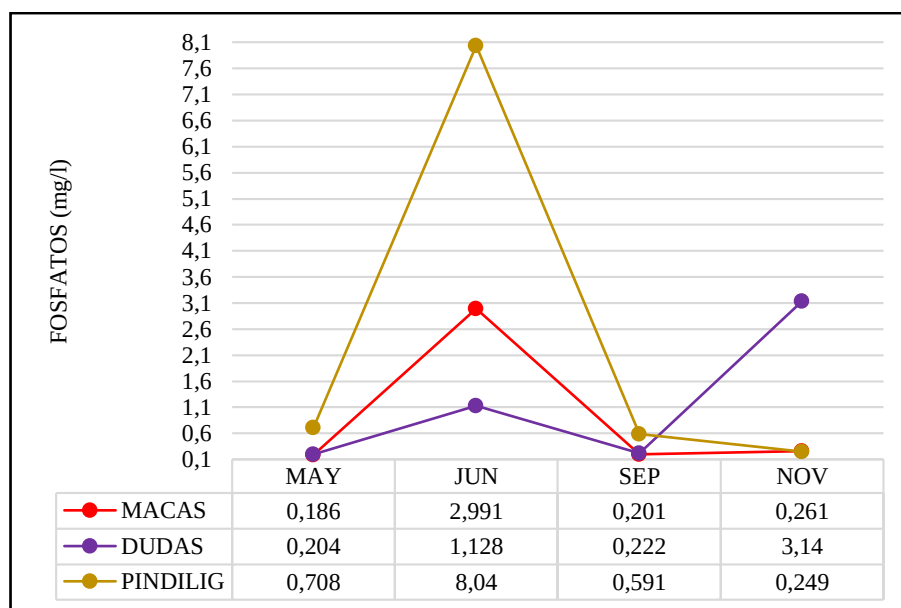


Figura 75: Variación espacial y temporal de fosfatos
Elaborado por:(Autores, 2015)

• Nitratos

En la Figura 76 se exponen los niveles determinados para la concentración de nitratos, en el río Macas los valores se encuentran entre 0.205 y 0.332 mg/l de NO_3^- , en el río Dudas los valores están entre 0.173 y 0.374 mg/l de NO_3^- , mientras que el río Pindilig presenta valores entre 0.153 y 0.429 NO_3^- .

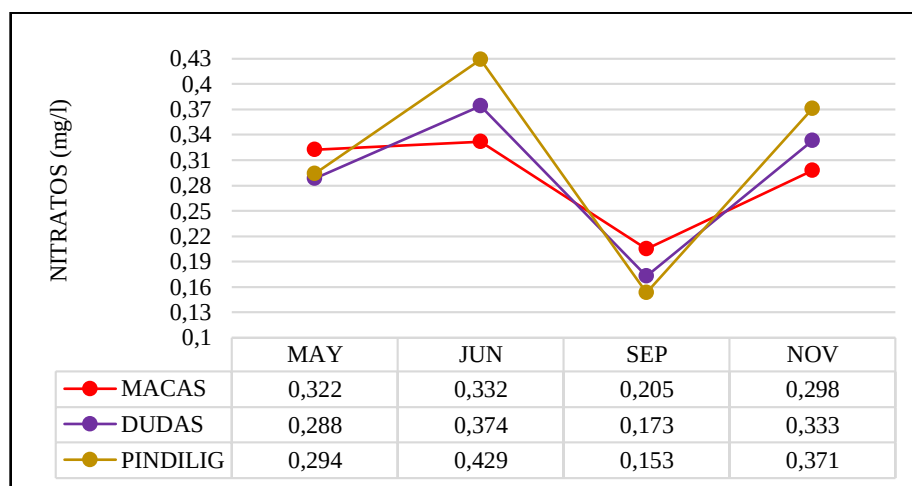


Figura 76: Variación espacial y temporal de nitratos
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que en el mes de Junio (época invernal), existe un aumento de las concentraciones de los nitratos para los tres ríos, presentando los valores más altos.

Pudiendo deberse esto a la existencia de aportes de este ion por actividades antrópicas como colocación de fertilizantes y estiércol en los sembríos. Así también se registran los valores más bajos en el mes de Septiembre (época de verano).

- **Sólidos Disueltos Totales**

En la Figura 77 se muestra los niveles determinados para la concentración de sólidos disueltos totales, para el caso del río Macas los valores están entre 65 y 78 mg/l, en el río Dudas, los valores están entre 73 y 83 mg/l; mientras que para el río Pindilig se registran valores entre 70 y 87 mg/l.

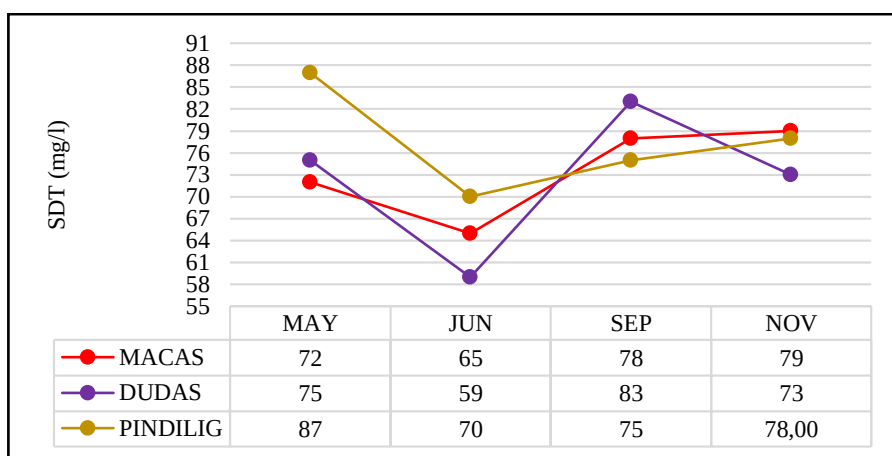


Figura 77: Variación espacial y temporal de sólidos disueltos totales
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que para el caso del río Pindilig, se registra la mayor concentración de los SDT en el mes de Mayo; en el caso de los ríos Macas y Dudas, los mayores valores se presentan en el mes de Septiembre; mientras que las menores concentraciones se registraron en el mes de Junio para los tres ríos.

- **Oxígeno Disuelto**

En la Figura 78 se pueden observar los niveles determinados para la concentración de oxígeno disuelto, en el caso del río Macas los valores están entre 7.9 y 8.30 mg/l, en el río Dudas los valores están entre 8.10 y 8.60 mg/l; mientras que el río Pindilig registra valores que se encuentran entre 7.79 y 9.03 mg/l.

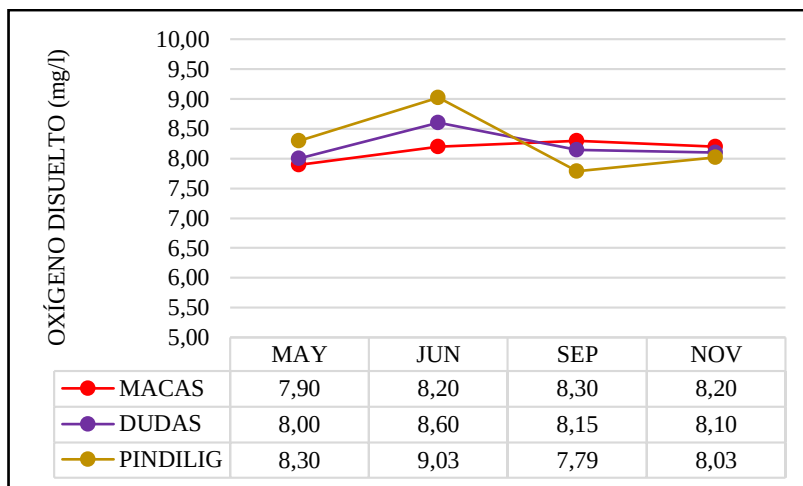


Figura 78: Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que en el mes de Junio de manera general existe un valor mayor de oxígeno disuelto para los tres ríos. El río Macas presenta valores mayores durante la época veraniega; el río Dudas mantiene sus valores durante todos sus meses, excepto en el mes de Junio, mientras que el río Pindilig registra una disminución del valor en el mes de Septiembre.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

En la Figura 79 se muestran los niveles determinados para la concentración de DBO₅, en el caso del río Macas los valores están entre 0.53 y 1.03 mg/l, en el río Dudas los valores están entre 0.66 y 1.35 mg/l; mientras que en el caso del río Pindilig los valores registrados se encuentran entre 0.465 y 2.24 mg/l.

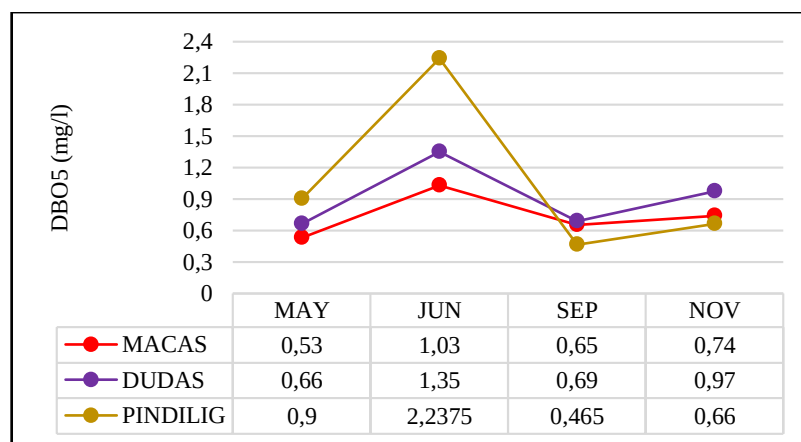


Figura 79: Variación espacial y temporal de la DBO₅
Elaborado por:(Autores, 2015)

Se puede observar que en el mes de Junio existe un valor mayor de DBO_5 para los tres ríos; así también se registra el valor mínimo de concentración en el mes de Septiembre para el caso de los ríos Dudas y Pindilig y para el río Macas su valor mínimo se presenta en el mes de Mayo.

3.3.2.3. Parámetros microbiológicos

- **Coliformes Fecales (*E.Coli*)**

En la Figura 80 se pueden observar los niveles determinados para la concentración de coliformes fecales, en el caso del río Macas los valores están entre 220 y 14 000 NMP/100ml, en el río Dudas los valores están entre 390 y 16 000 NMP/100ml; mientras que el río Pindilig registra valores que se encuentran entre 70 y 9 200 NMP/100ml.

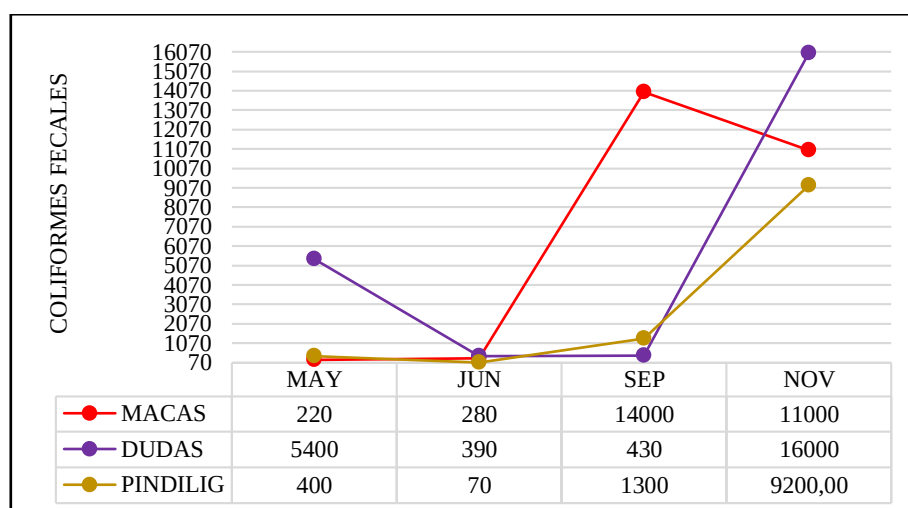


Figura 80: Variación espacial y temporal de coliformes fecales
Elaborado por: (Autores, 2015)

Se puede observar que el valor más alto registrado para el río Macas se ubica en el mes de Septiembre, existiendo una mínima disminución en el mes de Noviembre; para el caso del río Dudas y Pindilig, sus máximos valores se presentan en el mes de Noviembre. Los valores mínimos registrados se presentan en el mes de Junio para el caso de los ríos Dudas y Pindilig, mientras que en el caso del río Macas su valor mínimo ocurre en el mes de Mayo.

3.4. COMPARACIÓN DE LOS MUESTREOS REALIZADOS CON LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE

De acuerdo al Registro Oficial del Órgano del Gobierno del Ecuador No. 41, Anexo 1B, Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua de Centrales Hidroeléctricas, documento complementario al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), se han comparado los resultados obtenidos en el laboratorio para los 5 puntos de muestreo con los límites máximos permisibles expuestos en dichos cuerpos legales vigentes.

Para ello se ha tomado en cuenta que las aguas de los ríos Mazar y Pindilig, a más de ser utilizadas para la generación de energía, son utilizadas por las comunidades principalmente en actividades como riego y consumo humano, también se ha tomado en cuenta el criterio para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

- Para la comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional únicamente se han considerado al río Mazar (Colepato), río Macas y Dudas, debido a que aguas abajo de los mismos existen comunidades que pueden favorecerse del recurso para su uso doméstico. Como se había mencionado en capítulos anteriores, la mayoría de comunidades cercanas a la zonas de estudio carecen de obras de saneamiento básico.

Tabla 11: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Mayo

PARÁMETROS	MAYO			LMP
	COLEPATO	MACAS	DUDAS	
	MUESTRA			
Cambio de Temperatura (°C)	1	1	0.5	+ o - 3
Turbiedad (NTU)	8.49	6.37	13.1	100
pH	7.67	7.62	7.78	6 - 9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.17	0.186	0.204	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.25	0.32	0.29	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	78	72	75	1 000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	108.54	103.77	108.02	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO ₅ mg/L	0.72	0.53	0.66	2
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	110	220	5 400	600

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

Como se puede observar en la Tabla 11, los parámetros: temperatura, turbiedad, pH, nitratos, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, DBO₅ y coliformes fecales cumplen con la legislación en el río Mazar (Colepato), río Macas y río Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, mismo que se encuentra sobrepasando los límites máximos permisibles expuestos en la legislación para el punto tomado en el mes de Mayo en el río Dudas.

Tabla 12: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Junio

PARÁMETROS	JUNIO			LMP
	COLEPATO	MACAS MUESTRA	DUDAS	
Cambio de Temperatura (°C)	1.5	1	1	+ 0 - 3
Turbiedad (NTU)	58.5	78.5	228	100
pH	7.87	7.46	7.27	6 - 9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.83	2.99	1.128	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.33	0.37	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	64	65	59	1000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	110.26	102.72	108.17	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.79	1.03	1.35	2
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	200	280	390	600

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)

Fuente: MAE. (2015).

Como se puede observar en la Tabla 12, los parámetros: temperatura, pH, turbiedad, nitratos, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, coliformes y DBO₅ cumplen con la legislación en el río Mazar (Colepato), río Macas y río Dudas, a excepción de la turbiedad, la cual se encuentra sobrepasando los límites máximos permisibles expuestos en la legislación para el punto tomado en el mes de Junio en el río Dudas.

Tabla 13: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Septiembre

PARÁMETROS	SEPTIEMBRE			LMP
	COLEPATO	MACAS	DUDAS	
	MUESTRA			
Cambio de Temperatura (°C)	1.2	1.3	1.6	+ 0 - 3
Turbiedad (NTU)	0.14	6.1	9.52	100
pH	8.1	7.86	7.95	6 - 9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.03	0.20	0.22	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.01	0.20	0.17	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	86	78	83	1000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	104.62	105.78	104.82	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.38	0.65	0.69	2
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	14 000	430	600

Nota. NE = No Especifica.. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

La Tabla 13 indica que los parámetros: temperatura, turbiedad, pH, nitratos, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, DBO₅ y coliformes fecales cumplen con la legislación en el río Mazar (Colepato), río Macas y río Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, que sobrepasa los límites permisibles para el punto tomado en el mes de Septiembre en el río Macas.

Tabla 14: Comparación con la legislación para agua de uso doméstico con tratamiento convencional en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Noviembre

PARÁMETROS	NOVIEMBRE			LMP
	COLEPATO	MACAS	DUDAS	
	MUESTRA			
Cambio de Temperatura (°C)	2	1	1.6	+ 0 - 3
Turbiedad (NTU)	1.92	10.7	11.1	100
pH	8.2	7.98	8.16	6 - 9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.08	0.26	3.14	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.21	0.33	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	77	79	73	1000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	105.35	107.71	106.60	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.47	0.74	0.97	2
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	11 000	16 000	600

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

La Tabla 14 indica que los parámetros: temperatura, turbiedad, pH, nitratos, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, DBO₅ y coliformes fecales cumplen con la legislación en el río Mazar (Colepato), río Macas y río Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, el cual sobrepasa los límites permisibles para el punto tomado en el mes de Noviembre en los ríos Macas y Dudas.

En general se puede observar que para los parámetros establecidos en el TULSMA para agua de uso doméstico con tratamiento convencional, la subcuenca del río Mazar en el punto de muestreo ubicado en la comunidad de Colepato cumple con todos los parámetros durante las 4 campañas de monitoreo.

Para la subcuenca del río Pindilig; se observa que el punto de muestreo ubicado en el río Macas cumple con todos los parámetros en los meses de Mayo y Junio, mientras que en los meses de Septiembre y Noviembre sobrepasa la normativa para coliformes fecales; el punto de muestreo ubicado en el río Dudas, cumple con todos los parámetros en el mes de Septiembre, mientras que en el mes de Mayo y Noviembre sobrepasa la normativa para coliformes fecales y en el mes de Junio sobrepasa la normativa para la turbiedad.

- Para la comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario se han considerado a los 5 puntos de muestreo.

Tabla 15: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Mayo

PARÁMETROS	MAYO					LMP
	COLEPATO	PRESA	MACAS	DUDAS	PINDILIG	
	MUESTRA					
Cambio de Temperatura (°C)	1	1.5	1	0.5	1,8	Condiciones naturales + 3 Máxima 20
Turbiedad (NTU)	8.49	16.1	6.37	13.1	14.8	NE
pH	7.67	7.34	7.62	7.78	7.77	6.5-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.17	5.40	0.19	0.20	0.71	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.25	0.35	0.32	0.29	0.21	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	78	75	72	75	87	NE
Oxígeno Disuelto (% SAT)	108.54	112.20	103.77	108.02	110.58	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.72	0.99	0.53	0.66	0.9	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	110	140	220	5 400	400	200

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

La Tabla 15 indica que los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto cumplen con la legislación en los 5 puntos de monitoreo, mientras que el parámetro coliformes fecales sobrepasa los límites máximos permisibles para los puntos Macas, Dudas y Pindilig tomados durante el mes de Mayo.

Tabla 16: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Junio

JUNIO						
COLEPATO PRESA MACAS DUDAS PINDILIG						
PARÁMETROS	MUESTRA					LMP
Cambio de Temperatura (°C)	1.5	1.4	1	1	1	Condiciones naturales + 3 Máxima 20
Turbiedad (NTU)	58.5	955	78.5	228	418	NE
pH	7.87	7.81	7.46	7.27	7.35	6.5-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.83	7.94	2.99	1.13	8.04	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.23	0.33	0.37	0.43	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	64	277	65	59	70	NE
Oxígeno Disuelto (% SAT)	110.26	115.26	102.72	108.17	113.24	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.79	2.14	1.03	1.35	2.24	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	200	68 000	280	390	70	200

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Color Amarillo = LMP. Elaborado por: (Autores, 2015) Fuente: MAE. (2015).

En la Tabla 16 se puede observar que los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto cumplen con la legislación en los 5 puntos de monitoreo, mientras que el parámetro coliformes fecales sobrepasa los límites máximos permisibles para los puntos Presa, Macas y Dudas, tomados durante el mes de Junio, a la vez se puede destacar que para el sitio Colepato, el valor registrado se encuentra en el límite máximo permisible.

Tabla 17: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Septiembre

PARÁMETROS	SEPTIEMBRE					LMP
	COLEPATO	PRESA	MACAS	DUDAS	PINDILIG	
	MUESTRA					
Cambio de Temperatura (°C)	1.2	1.7	1.3	1.6	2	Condiciones naturales + 3 Máxima 20
Turbiedad (NTU)	0.138	12.4	6.1	9.52	9.54	NE
pH	8.1	7.9	7.86	7.95	8.04	6.5-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.03	2.91	0.20	0.22	0.59	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.01	0.10	0.20	0.17	0.15	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	86	96	78	83	75	NE
Oxígeno Disuelto (% SAT)	104.62	105.03	105.78	104.82	103.59	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.38	0.55	0.65	0.69	0.465	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	320	14 000	430	1300	200

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

En la Tabla 17 se puede observar que los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto cumplen con la legislación en los 5 puntos de monitoreo, en cambio el parámetro coliformes fecales sobrepasa los límites máximos permisibles para los puntos Presa, Macas y Dudas, y Pindilig tomados durante el mes de Septiembre.

Tabla 18: Comparación con la legislación para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario en los 5 puntos de monitoreo en el mes de Noviembre

PARÁMETROS	NOVIEMBRE					LMP
	COLEPATO	PRESA	MACAS	DUDAS	PINDILIG	
			MUES - TRA			
Cambio de Temperatura (°C)	2	1.6	1	1.6	1.9	Condiciones naturales + 3 Máxima 20
Turbiedad (NTU)	1.92	14.3	10.7	11.1	8.6	NE
pH	8.2	8.2	7.98	8.16	8.1	6.5-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.08	0.46	0.26	3.14	0.25	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.21	0.3	0.33	0.37	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	77	95	79	73	78	NE
Oxígeno Disuelto (% SAT)	105.35	106.07	107.71	106.60	107.78	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
DBO5 mg/L	0.47	0.33	0.74	0.97	0.66	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	170	11 000	16 000	9200	200

Nota. NE = No Específica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

La Tabla 18 indica que los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto cumplen con la legislación en los 5 puntos de monitoreo, mientras que el parámetro coliformes fecales sobrepasa los límites en los puntos Macas, Dudas y Pindilig tomados durante el mes de Noviembre.

En general se puede observar que para los parámetros establecidos en el TULSMA para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario, la subcuenca del río Mazar en el punto de muestreo ubicado en la comunidad de

Colepato cumple con todos los parámetros, cabe mencionar que en el mes de Junio el valor de los coliformes fecales se encuentra en el límite máximo permisible. El punto ubicado en el río Mazar sitio de la Presa cumple con todos los parámetros durante los meses de Mayo y Noviembre, mientras que en los meses de Junio y Septiembre incumple con el parámetro para coliformes fecales. Para la subcuenca del Pindilig, los puntos ubicados en los ríos Macas y Dudas no cumplen con la normativa para el parámetro coliformes fecales durante el período de monitoreo. El río Pindilig supera los valores permisibles para coliformes fecales en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre.

- Para la comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego únicamente se han considerado a los ríos Mazar (Colepato), Macas y Dudas, debido a que aguas debajo de los mismos existen comunidades que pueden favorecerse del recurso para usos como el riego.

Tabla 19: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Mayo

PARÁMETROS	COLEPATO	MAYO MACAS MUESTRA	DUDAS	LMP
Cambio de Temperatura (°C)	1	1	0.5	NE
Turbiedad (NTU)	8.49	6.37	13.1	NE
pH	7.67	7.62	7.78	6-9
Fosfatos (PO ₄ mg/L)	0.17	0.19	0.20	NE
Nitratos (NO ₃ mg/L)	0.25	0.32	0.29	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	78	72	75	3 000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	108.54	103.77	108.02	NE
DBO ₅ mg/L	0.72	0.53	0.66	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	110	220	5 400	1 000

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

En la Tabla 19 se puede observar que los parámetros: pH, sólidos disueltos totales cumplen con la legislación en el río Mazar (Colepato), Macas y Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, el cual se encuentra sobrepasando los límites permisibles para el punto tomado en el mes de Mayo en el río Dudas.

Tabla 20: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Junio

PARÁMETROS	COLEPATO	JUNIO MACAS MUESTRA	DUDAS	LMP
Cambio de Temperatura (°C)	1.5	1	1	NE
Turbiedad (NTU)	58.5	78.5	228	NE
pH	7.87	7.46	7.27	6-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.83	2.1	1.13	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.33	0.37	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	64	65	59	3 000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	110.26	102.72	108.17	NE
DBO5 mg/L	0.79	1.03	1.35	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	200	280	390	1 000

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

En la Tabla 20 se puede observar que los parámetros: pH, sólidos disueltos totales y coliformes fecales cumplen con la legislación en los ríos Mazar (Colepato), Macas y Dudas tomado en el mes de Junio.

Tabla 21: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Septiembre

PARÁMETROS	COLEPATO	SEPTIEMBRE		LMP
		MACAS	DUDAS	
		MUESTRA		
Cambio de Temperatura (°C)	1.2	1.3	1.6	NE
Turbiedad (NTU)	0.14	6.1	9.52	NE
pH	8.1	7.86	7.95	6-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.03	0.20	0.22	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.01	0.20	0.17	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	86	78	83	3 000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	104.62	105.78	104.82	NE
DBO5 mg/L	0.38	0.65	0.69	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	14 000	430	1 000

Nota. NE = No Especifica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

La Tabla 21 indica que los parámetros: pH, sólidos disueltos totales cumplen con la legislación en los ríos Mazar (Colepato), Macas y Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, el cual se encuentra sobrepasando los límites máximos permisibles para el punto tomado en el mes de Septiembre en el río Macas.

Tabla 22: Comparación con la legislación para agua de uso agrícola o de riego en los 3 puntos de monitoreo (Colepato, Macas y Dudas) en el mes de Noviembre

PARÁMETROS	COLEPATO	NOVIEMBRE		LMP
		MACAS MUESTRA	DUDAS	
Cambio de Temperatura (°C)	2,00	1	1.6	NE
Turbiedad (NTU)	1.92	10.7	11.1	NE
pH	8.2	7.98	8.16	6-9
Fosfatos (PO4 mg/L)	0.08	0.26	3.14	NE
Nitratos (NO3 mg/L)	0.14	0.3	0.33	NE
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	77	79	73	3 000
Oxígeno Disuelto (% SAT)	105.35	107.71	106.60	NE
DBO5 mg/L	0.47	0.74	0.97	NE
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	33	11 000	16 000	1 000

Nota. NE = No Específica. Color rojo = supera el límite permisible. Elaborado por: (Autores, 2015)
Fuente: MAE. (2015).

Finalmente, la Tabla 22 indica que los parámetros: pH y sólidos disueltos totales cumplen con la legislación en los ríos Mazar (Colepato), Macas y Dudas, a excepción del parámetro coliformes fecales, el cual se encuentra sobrepasando los límites máximos permisibles para el punto tomado en el mes de Noviembre en los ríos Macas y Dudas.

En general se puede observar que para los parámetros establecidos en el TULSMA para agua de uso agrícola o de riego, la subcuenca del río Mazar en el punto de muestreo ubicado en la comunidad de Colepato cumple con todo los parámetros durante todos los meses de monitoreo. Para la subcuenca del Pindilig, los puntos ubicados en los ríos Macas cumplen con la normativa para los tres parámetros en Mayo y Junio, mientras que en los meses de Septiembre y Noviembre incumple con el valor permisible para coliformes fecales. El río Dudas cumple con todos los parámetros en los meses de Junio y Septiembre, mientras que no cumplen con la normativa para el parámetro coliformes fecales en los meses de Mayo y Noviembre.

3.5. CARGAS CONTAMINANTES

Como se ha mencionado en capítulos anteriores las aguas del río Mazar desembocan en el río Paute para posteriormente formar el embalse Amaluza, mientras que las aguas del río Pindilig desembocan directamente en el embalse Mazar.

La vida útil de un embalse depende de muchos factores, entre ellos están la cantidad de sedimentos que son arrastrados por el río, así como la cantidad de nutrientes, principales causantes de los problemas de eutrofización. Debido a esto, se ha tomado en cuenta la concentración de los parámetros fosfatos, nitratos y sólidos suspendidos para determinar las cargas contaminantes aportadas por los ríos Mazar y Pindilig durante los meses que fueron monitoreados.

A continuación se presentan de manera general las cargas contaminantes obtenidas en mg/s para los parámetros mencionados.

3.5.1. Cargas contaminantes en la subcuenca del río Mazar

Tabla 23: Carga contaminante aportada por la subcuenca del río Mazar

MES	COLEPATO			PRESA		
	CC PO ₄ ³⁻ (mg/s)	CC NO ₃ ⁻ (mg/s)	CC SST (mg/s)	CC PO ₄ ³⁻ (mg/s)	CC NO ₃ ⁻ (mg/s)	CC SST (mg/s)
MAY	513	743	15 100	30 780	1 995	148 200
JUN	6 342	1 088	414 990	116 877	3 386	5 107 840
SEP	52	202	6 240	11 960	452	78 090
NOV	168	298	6 300	1 858	808	60 600

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015).

En la Tabla 23 se puede observar que en el río Mazar en los sitios Colepato y Presa durante el mes de Junio se registran los más altos valores de cargas contaminantes para los parámetros fosfatos, nitratos y sólidos suspendidos totales, esto debido al fuerte temporal pasado en dicha fecha. Además cabe mencionar que el sitio Presa presenta valores superiores a los registrados en Colepato, esto debido a que la cuenca baja (Presa) recibe toda la contaminación de las cuencas alta y media.

3.5.2. Cargas contaminantes en la subcuenca del río Pindilig

Tabla 24: Carga contaminante aportada por la subcuenca del río Pindilig

MES	MACAS			DUDAS			PINDILIG		
	CC PO ₄ ³⁻ (mg/s)	CC NO ₃ ⁻ (mg/s)	CC SST (mg/s)	CC PO ₄ ³⁻ (mg/s)	CC NO ₃ ⁻ (mg/s)	CC SST (mg/s)	CC PO ₄ ³⁻ (mg/s)	CC NO ₃ ⁻ (mg/s)	CC SST (mg/s)
MAY	508	879	16 380	700	1 022	35 000	4 601	1 879	77 760
JUN	15 249	1 683	295 800	7 492	2 453	1 074 060	97 284	5 203	4101 900
SEP	206	216	5 150	301	233	17 810	1 499	381	30 480
NOV	302	348	11 600	5 432	571	19 030	873	1 291	48 860

Nota. Elaborado por: (Autores, 2015).

En la Tabla 24 se puede observar que durante el mes de Junio se registraron los valores más altos de cargas contaminantes para fosfatos, nitratos y sólidos suspendidos totales en los sitios de muestreo Macas, Dudas y Pindilig; esto ocurre ya que en dicho mes hubo ocurrencia de fuertes lluvias, produciendo mayor arrastre de contaminantes. Así también se puede inferir que al realizar una comparación entre los tres tramos mencionados se destaca que en el sitio Pindilig la carga contaminantes es superior, esto debido a que se trata de la cuenca baja del río Pindilig el cual recibe toda la contaminación de las microcuencas Macas y Dudas. También se observa que la carga contaminante de fosfatos y sólidos suspendidos totales es mayor en el sitio de muestreo Macas al compararlo con el Dudas, al contrario para el caso de nitratos existe una carga superior en el río Dudas.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los índices de calidad de agua reflejan la situación actual de los cuerpos hídricos y constituyen una valiosa herramienta para detectar tendencias en la calidad del agua, aspecto muy importante para las entidades que tienen a su cargo el manejo y la administración del recurso, como es el caso de la empresa CELEC EP – HIDROPAUTE.

Es así que en el presente estudio se evaluó la calidad del agua de los ríos Mazar y Pindilig mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA- NSF). La información proporcionada en este estudio permitirá el desarrollo de futuros proyectos para la gestión adecuada del recurso hídrico, así como profundizar la aplicación de otros indicadores de contaminación.

Para la obtención de los índices de calidad de los ríos Mazar y Pindilig se desarrolló un plan de monitoreo, el cual nos permitió identificar los puntos de muestreo y la metodología aplicada en cada río. Las campañas de monitoreo se realizaron dentro de lo posible de acuerdo a las especificaciones de las normas INEN 2 226:00, sobre diseño de los programas de muestreo para calidad del agua consultadas, y las especificaciones dadas por el personal del Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, de forma que se garantizó la correcta toma, conservación y transporte seguro de las muestras.

A partir de los resultados obtenidos se procedió a calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) para los 2 ríos en estudio; es así que para la subcuenca del río Mazar la evaluación de la calidad del agua a lo largo de los dos puntos de muestreo, presenta un deterioro a medida que avanza su recorrido aguas abajo de la comunidad de Colepato, aun así de acuerdo a los valores obtenidos en los índices, se considera una agua ligeramente contaminada (buena calidad) en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre, excepto en el mes de Junio en el cual se registraron altas precipitaciones, cuya calidad disminuye categorizándose como aguas moderadamente contaminadas (mediana calidad); esta disminución se atribuye a altos valores de turbiedad, fosfatos, y

coliformes fecales, que fueron registrados en la cuenca baja del río Mazar (sitio de la Presa) debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua.

Se estableció una relación entre la calidad del agua y los caudales correspondientes a las épocas invernal y veraniega para el río Mazar. Los parámetros empleados en el cálculo del ICA como: fosfatos, nitratos, sólidos disueltos totales, DBO_5 y coliformes fecales se concentran en la época lluviosa (caudales altos) y disminuyen en la época de estiaje (caudales bajos), esto debido a que las altas precipitaciones producen una escorrentía que arrastra una alta carga contaminante de dichos parámetros procedentes de la cuenca de drenaje.

Para la subcuenca del río Pindilig se evaluó la calidad del agua en los tres puntos de muestreo, la calidad del agua presentó un ligero aumento desde la cuenca media hasta la cuenca baja; categorizándose como aguas ligeramente contaminadas (buena calidad) en los meses de Mayo, Septiembre y Noviembre, excepto en el mes de Junio, en el cual se registró altas precipitaciones, cuya calidad disminuye categorizándose como aguas moderadamente contaminadas (mediana calidad); esta disminución se atribuye a altos valores de turbiedad, fosfatos y coliformes fecales que fueron registrados en la cuenca media y baja del río Pindilig debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua.

También se estableció una relación entre la calidad del agua y los caudales correspondientes a las épocas invernal y veraniega para la subcuenca del Pindilig. Los parámetros empleados en el cálculo del ICA -NSF como: fosfatos, nitratos y DBO_5 aumentaron en la época lluviosa (caudales altos) y disminuyeron en la época de estiaje (caudales bajos). Al igual que en el río Mazar, las altas precipitaciones produjeron escorrentías que aceleraron el arrastre de las cargas contaminantes de dichos parámetros.

Para entender mejor el comportamiento del ICA-NSF respecto a las épocas invernal y veraniega se han revisado otros estudios similares, como el trabajo realizado por Peñafiel (2014) sobre la Evaluación de la Calidad de Agua del río Tomebamba mediante el Índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en el cual se expone que la calidad del río es mejor con respecto a la estación invernal, ya que la dilución de contaminantes se incrementa por la presencia de mayores caudales. Lo cual es curioso, ya que en nuestro estudio el comportamiento del ICA-NSF en los ríos Mazar y Pindilig es diferente, debido a que la calidad del agua disminuye durante la época invernal, dicha información coincide con el estudio sobre Monitoreo de Calidad de Agua del Sistema de Generación Eléctrica

“Paute Integral” (2013), realizado por el PROMAS de la Universidad de Cuenca, en el cual se expone el mismo comportamiento para el ICA-NSF determinado para el río Collay, atribuyendo a que el aumento de las precipitaciones produjo escorrentías fuertes que ocasionaron el arrastre de grandes concentraciones de contaminantes de la cuenca de drenaje, principalmente el arrastre de sedimentos, así también depende de las características topográficas y geológicas de cada subcuenca, lo cual influye en la capacidad de autodepuración del río.

De manera general se ha detectado que en las dos subcuencas estudiadas existen procesos y actividades que afectan la calidad del agua, entre estas están: actividades productivas no adecuadas, manejo inadecuado en la disposición de los desechos sólidos provenientes tanto de las actividades agrícolas como de las domésticas, contaminación del recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar debido a la falta de sistemas adecuados de saneamiento, las malas prácticas del uso del suelo debido a la sobreutilización de productos agroquímicos, cambios en el uso del suelo y obras civiles en construcción, mismas que están contribuyendo al deterioro de los suelos y por consiguiente, a la contaminación de las fuentes superficiales. Este problema se agrava cuando existen escorrentías superficiales que arrastran nutrientes, fertilizantes, y principalmente sedimentos suspendidos.

Mediante la comparación con la normativa ambiental vigente TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente), Libro VI, Anexo 1; se ha constatado que para uso de agua doméstico con tratamiento convencional existe incumplimiento del parámetro coliformes fecales en el punto muestreado para el río Dudas durante el monitoreo llevado a cabo en el mes de Mayo (transición a la época de invierno); así también en el mes de Junio (época invernal), se registra incumplimiento de la normativa del parámetro turbiedad; estos parámetros guardan cierta relación ya que al tener mayor cantidad de partículas en suspensión, el proceso de desinfección del agua es menor, por lo que dichas partículas protegen a los microorganismos y estimulan la proliferación de bacterias; así también se puede atribuir este hecho a la escasa cobertura vegetal que presentan los suelos, lo cual puede provocar erosión y degradación de los mismos teniendo como consecuencia que durante fuertes precipitaciones este suelo sea arrastrado hacia fuentes de agua llevando consigo grandes cargas contaminantes; mientras que en los meses Septiembre (transición a la época de verano) y Noviembre (época de verano), muestran incumplimiento del parámetro coliformes fecales en los ríos Macas y Dudas.

En el caso de la calidad del agua para preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario, se ha determinado incumplimiento del parámetro coliformes fecales de manera general para los 5 puntos de monitoreo Colepato, Presa, Macas, Dudas y Pindilig. Mientras que en el caso del agua para uso agrícola o riego se ha detectado incumplimiento del parámetro coliformes fecales en los ríos Macas y Dudas durante las 4 campañas de monitoreo. La contaminación por coliformes fecales puede atribuirse a la inexistencia de sistemas de saneamiento y actividades ganaderas por parte de las comunidades aledañas al área en estudio, lo cual provoca que al ser descargados los desechos de forma directa al agua, así como por arrastre de los suelos el agua se contamine.

El cálculo de la carga contaminante es un factor importante, ya que permite determinar la masa de contaminante que se encuentra presente en el agua por unidad de tiempo; de esta manera los valores estimados para sólidos suspendidos y nutrientes servirán como referencia sobre el aporte de dichos contaminantes que llegan al embalse; contribuyendo de esta manera a mantener el tiempo de vida útil del mismo.

RECOMENDACIONES

Los valores de los Índices de Calidad de Agua para los ríos Mazar y Pindilig, se han determinado de acuerdo a la metodología establecida por el modelo de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos, sin embargo es importante mencionar que dicho método puede modificarse y adaptarse a las condiciones de la zona de estudio dependiendo de los objetivos planteados. En este estudio se determinó el ICA-NSF para su uso en abastecimiento público, pero se podría modificar la metodología permitiendo abarcar otros usos como uso agrícola o de riego, recreación, pesca y vida acuática, entre otros usos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y sus respectivos análisis, se plantea llevar un control de la calidad de las subcuencas de los ríos Mazar y Pindilig, enfocado principalmente a reducir las concentraciones de sedimentos. Cabe recalcar que el río Pindilig drena sus aguas directamente al Embalse Mazar, mientras que el río Mazar desemboca en el Paute para formar el Embalse Amaluza, por lo que este aspecto es muy importante debido a que es un factor que influye en la calidad del agua para uso y generación hidroeléctrica, principalmente por el efecto de los sedimentos en la capacidad útil del embalse.

Las cargas contaminantes estimadas de sólidos suspendidos obtenidas en el presente estudio nos presentan una visión general del comportamiento de este parámetro, por lo que se recomienda realizar estudios más exhaustivos sobre el aporte de sedimentos de estas subcuencas al sistema de generación hidroeléctrica “Paute Integral”.

Es prioritario realizar programas de reforestación a lo largo de las subcuencas, con el objetivo de recuperar la cobertura vegetal y disminuir los efectos de la erosión y sedimentación sobre estas.

También es necesario llevar a cabo un control de la contaminación por las altas concentraciones de nutrientes (fosfatos y nitratos), para ello se podría implementar un plan para trabajar con las comunidades en capacitaciones sobre buenas prácticas agrícolas y ganaderas, así también mantener un control sobre los cambios y usos del suelo.

Es necesario implementar sistemas de saneamiento básico para las poblaciones aledañas a los dos microcuencas, promoviendo de esta manera la participación y cambio de comportamiento sanitario de los usuarios.



Finalmente se recomienda realizar campañas de monitoreo de forma continua, tomando en cuenta los diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así también se podrían determinar indicadores biológicos (Índices IPS, IBMWP, IBICAT, entre otros), lo cual es indispensable para la gestión adecuada del recurso hídrico, permitiendo tener una visión clara sobre la contaminación en las subcuencas y promover el desarrollo de acciones para su conservación y protección.

BIBLIOGRAFÍA

- CELEC EP. (2015). *Corporación Eléctrica del Ecuador*. Recuperado el Septiembre de 2015, de <https://www.celec.gob.ec/quienes-somos/la-empresa.html>
- ASTEC. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental Definitivo del Aprovechamiento San Antonio, Dudas y Alazán*. HIDROAZOGUES, Cuenca.
- Behar, R., Zúniga, M., & Rojas, O. (1997). *Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería.
- Brow, R. M. (1970). *A Water Quality Index - Do We Dare? Water and Sewage Works*.
- Brown, L., & Barnwell, T. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models. Documentation and User Manual*, Environmental Agency Protection, EPA.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (30 de Agosto de 2014). *Indicadores De la Calidad del Agua: Evolución y Tendencias a Nivel Global*. Revista de la Universidad Cooperativa de Colombia, 14. Obtenido de doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- CELEC EP -HIDROPAUTE. (2015). *Metodología para determinación del caudal mediante micromolinetes*. Departamento de Hidrología, Cuenca.
- Consorcio Argudo & Calle. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Rural de la Parroquia Rivera*. Municipio de Azogues, Cañar.
- Cordero, I. (2013). *Evaluación de la Gestión Territorial de la cuenca del río Paute, Estrategias y Líneas de Acción Para Superarlas*. Tesis previo a la obtención del grado de magister en ordenamiento territorial, Universidad de Cuenca, Instituto de Postgrado, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca.
- Díaz, C. (2015). *Propuesta Para la Implementación del Fondo de Desarrollo Ambiental de CELEC EP - HIDROPAUTE*. Tesis previa a la obtención del título de ingeniero industrial, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Fernandez Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Norte de Santander , Colombia.
- FONAPA. (2015). *Fondo del agua para la conservación de la cuenca del río Paute*. Obtenido de <http://www.fonapa.org.ec/index.php/fonapa/la-cuenca-del-rio-paute>
- GHI e Iberinsa-Caminosca y Canales C.Ltda. . (2009). *Plan Maestro de la cuenca del río Paute*. Cuenca.
- González Meléndez, V., Caicedo Quintero, O., & Aguirre Ramirez, N. (1 de Marzo de 2013). *Aplicattion of water quality indices NSF, DINIUS and BMWP*. Revista Gestión y Ambiente. Obtenido de https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45026932

- Huayamave, J. (2013). *Estudios de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico , orgánico , bacteriológico y toxicológico. Programa de Doctorado, Universidad de las Palmas de Gran Canaria , Departamento de Ingeniería de Procesos, España.*
- IERSE. (2005). *Caracterización territorial de las subcuencas de los ríos: Collay, Cuenca, Jadán, Juval, Magdalena, Mazar, Paute, Pindilig, Pulpito y Santa Bárbara pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Paute mediante imágenes satélite. Informe Final, Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional IERSE, Cuenca.*
- INEN. (2000). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 226:2000.*
- Ivan Cordero Dominguez. (2013). *Evaluación de la Gestión Territorial de la Cuenca del río Paute, Estrategias y Líneas de Acción para Superarlas. Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca.*
- León, M. G. (2014). *Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río Conguime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad del agua (ICA-Brow) en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Paquisha. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petroleos y Ambiental, Quito.*
- MAE. (2015). *Libro VI, Anexo I. En M. d. Ambiente, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Ecuador.*
- Ortega, E. (2013). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Pindilig. Gobierno Parroquial, Azogues.*
- Ott. W. (1981). *Environmental indices, theory and practice. Michigan: Ann Arbor Science.*
- Peñafiel, A. G. (2014). *Evaluación de la Calidad del Agua del río Tomebamba mediante el Índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua . Cuenca.*
- Ramirez, C. A. (2011). *Calidad del Agua (Vol. Vol. 1). (L. D. Escobar, Ed.) Medellín, Colombia: Ediciones de la U.*
- Rojas, C. M. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica en Nayarit, México. Tesis previa a la obtención de título de licenciada en biología, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas , Agropecuarias y Ambientales, Jalisco.*
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (Diciembre de 2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación, vol. 27(núm. 3), 172 - 181. Obtenido de www.redalyc.org*
- SNET. (2010). *INDICES DE CALIDAD DE AGUA GENERAL ICA. Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Salvador.*



Torres , Patricia ; Hernán, Camilo; Patiño, Paola Janeth. (5 de Octubre de 2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 16. Obtenido de www.scielo.org.co

ANEXOS

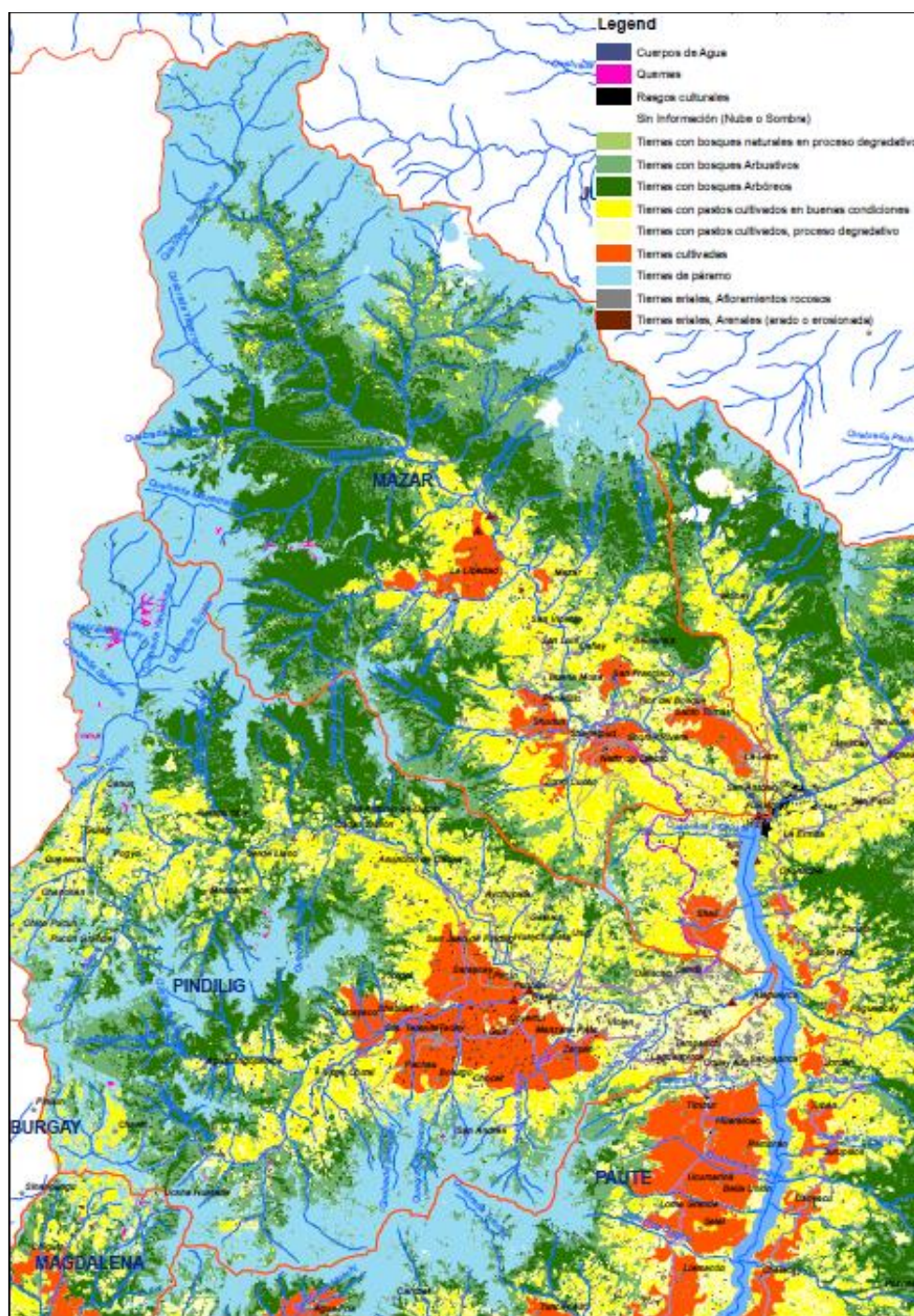
Anexo 1: Subcuencas de la cuenca del río Paute



Elaborado por: (Autores, 2015)

Fuente: (GHI e Iberinsa-Caminosca y Canales C.Ltda. , 2009)

Anexo 2: Usos del suelo de las subcuencas Mazar y Pindilig



Elaborado por: (Autores, 2015)

Fuente: (SENPLADES, 2015)

Anexo 3: Formato de Tabla de Excel para cálculo de caudales

DATOS DE CAMPO				DATOS CALCULADOS				OBSERVACIONES
Abcisa del Punto m	Profundidad m	Numero de intervalos	RPS (N)	VELOCIDAD		AREA SECCIÓN ARCIAL (m	CAUDAL AFORADO (m3/s)	
				Puntual (m/s)	Media (m/s)			
0	0+000.00	0.57	0	0.00	0.00			Orilla Izquierda
1	0+000.20	0.58	0	0.00	0.00	0.42	0.351	0.15
		0.3	106	3.53	0.47			
		0.4	80	2.67	0.37			
2	0+001.00	0.6	0	0.00	0.00	0.39	0.76	0.30
		0.45	73	2.43	0.34			
		0.3	81	2.70	0.37			
		0.15	106	3.53	0.47			
3	0+002.00	0.56	0	0.00	0.00	1.10	0.56	0.61
		0.4	271	9.03	1.16			
		0.25	239	7.97	1.03			
4	0+003.00	0.37	0	0.00	0.00	1.04	0.37	0.38
		0.3	303	10.10	1.30			
		0.2	283	9.43	1.21			
		0.1	137	4.57	0.60			
5	0+004.00	0.7	0	0.00	0.00	0.61	0.70	0.43
		0.6	187	6.23	0.81			
		0.45	155	5.17	0.68			
		0.3	122	4.07	0.54			
		0.15	88	2.93	0.40			
6	0+005.00	0.77	0	0.00	0.00	0.29	0.798525	0.23
		0.55	96	3.20	0.43			
		0.45	71	2.37	0.33			
		0.3	21	0.70	0.11			
7	0+005.33	0	0	0.00	0.00	0.00		Orilla Derecha
8								
8								
8								
hm		0.52			0.48	3.54	2.10	
Aforo realizado por: Soledad Carrillo / Paola Urgilés								

Fuente: (CELEC EP -HIDROPAUTE, 2015)

Anexo 4: Resultados de Laboratorio (27 de Mayo)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Subcuenca Río Mazar
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	27 de Mayo de 2015
Fecha de Análisis:	27 de Mayo de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Río Mazar Cuenca Alta (Muestra Simple)	Río Mazar Cuenca Baja (Muestra Compuesta)	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS				
TEMPERATURA	11	15	°C	in situ
TURBIEDAD	8,49	16,1	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	118,5	115,2	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS				
PH	7,67	7,34		
P. TOTAL	0,057	1,80	mg/l	como Fósforo
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0,009	0,012	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,246	0,350	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	83,0	101,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	36,0	26,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	47,0	75,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	78,0	75,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	32,0	5,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	46,0	70,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5,0	26,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	4,0	21,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	1,0	5,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,5	8,7	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,72	0,99	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS				
COLIFORMES TOTALES	2,20E+03	1100 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	1,10E+02	140 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:



Dra. Guillermina Pauta C.
QUÍMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 5: Resultados de Laboratorio (28 de Mayo)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Subcuenca Río Pindilig
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	28 de Mayo de 2015
Fecha de Análisis:	28 de Mayo de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARÁMETROS	Rio Macas	Rio Dudas	Rio Pindilig Muestra Compuesta	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA	13	14	14,62	°C.	in situ
TURBIEDAD	6,37	13,1	14,8	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	71,5	90,9	91,2	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS					
pH	7,62	7,78	7,77		
P. TOTAL	0,062	0,068	0,236	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0,012	0,007	0,011	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,322	0,288	0,294	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	78,0	85,0	99,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	46,0	49,0	48,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	32,0	36,0	51,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72,0	75,0	87,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	42,0	44,0	42,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	30,0	31,0	45,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	6,0	10,0	12,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	4,0	5,0	6,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	2,0	5,0	6,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	7,9	8,0	8,3	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,53	0,66	0,90	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES	1,10E+03	9,20E+03	5400 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	2,20E+02	5,40E+03	400 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 6: Resultados de Laboratorio (24 de Junio)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Subcuenca Rio Mazar
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	24 de Junio de 2015
Fecha de Analisis:	24 de Junio de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Rio Mazar	Rio Mazar	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Cuenca Alta	Cuenca Baja		
	(Muestra Simple)	(Muestra Compuesta)		
PARÁMETROS FÍSICOS				
TEMPERATURA	10	12,6	°C.	in situ
TURBIEDAD	58,5	955	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	70,0	78,3	us/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS				
PH	7,87	7,81		
P. TOTAL	0,270	2,59	mg/l	como Fósforo
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0,042	0,128	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,139	0,229	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	117,0	624,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	105,0	481,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	12,0	143,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	64,0	277,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	62,0	182,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	2,0	95,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	53,0	347,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	43,0	299,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	10,0	48,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,90	9,44	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,79	2,14	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS				
COLIFORMES TOTALES	1,10E+04	27000 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	2,00E+02	68000 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h00)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 7: Resultados de Laboratorio (25 de Junio)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Subcuenca Río Pindilig
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	25 de Junio de 2015
Fecha de Análisis:	25 de Junio de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Río Macas	Río Dudas	Río Pindilig Muestra Compuesta	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA	11	11	12,6	°C.	in situ
TURBIEDAD	78,5	228	418	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	40,3	40,6	37,9	us/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS					
PH	7,46	7,27	7,35		
P. TOTAL	0,997	0,376	2,680	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0,139	0,149	0,106	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,332	0,374	0,429	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	123,0	221,0	409,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	79,0	175,0	328,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	44,0	46,0	81,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	65,0	59,0	70,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	34,0	35,0	35,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	31,0	24,0	35,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	58,0	162,0	339,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	45,0	140,0	293,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	13,0	22,0	46,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,2	8,6	9,0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	1,03	1,35	2,23	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES	1,60E+04	1,70E+04	3500 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	280,0	390,0	70 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 8: Resultados de Laboratorio (23 de Septiembre)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia: Subcuenca Río Mazar
 Tipo de fuente: Superficial
 Fecha de toma: 23 de Septiembre de 2015
 Fecha de Análisis: 23 de Septiembre de 2015
 Análisis solicitado por: Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Río Mazar Cuenca Alta (Muestra Simple)	Río Mazar Cuenca Baja (Muestra Compuesta)	Río Mazar Cuenca Baja (Después de derrumbe)	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA	11,8	15,3	15,9	°C	in situ
TURBIEDAD	0,138	12,4	1447	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	114,4	125,2	127,1	us/cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS					
PH	8,10	7,99	8,05		
P. TOTAL	0,008	0,95	0,53	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0,001	0,003	0,061	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,097	0,111	0,139	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	89,0	115,0	2464,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	66,0	84,0	2212,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	23,0	31,0	252,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	86,0	96,0	158,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	66,0	70,0	102,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	20,0	26,0	56,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3,0	19,0	2306,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	0,0	14,0	2110,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	3,0	5,0	196,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,10	8,08	9,15	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,38	0,55	4,17	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES	46	3500 *		NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	33	320 *		NMP/100 ML	37°C. 24H

Muestra después del derrumbe.- No forma parte de la muestra compuesta; sin embargo, proporciona información sobre el grado de deterioro que experimenta la fuente, por este tipo de eventos, caracterizado por el arrastre de sólidos suspendidos de naturaleza inorgánica.

* Muestra puntual tomada a las 13h00
 Muestra compuesta tomada en
 variabilidad de tiempo
 (10h00, 11h30, 13h00)

Responsable:


 Dra. Guillermina Pauta C.
 QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 Facultad de Ingeniería
 LABORATORIO DE
 INGENIERIA SANITARIA

Anexo 9: Resultados de Laboratorio (24 de Septiembre)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Subcuenca Río Pindilig
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	24 de Septiembre de 2015
Fecha de Análisis:	24 de Septiembre de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Río Macas	Río Dudas	Río Pindilig Muestra Compuesta	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARAMETROS FISICOS					
TEMPERATURA	11,7	11,9	14,5	°C	in situ
TURBIEDAD	6,1	9,52	9,54	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	74,8	91,5	97,3	us/ cm	
PARAMETROS QUÍMICOS					
PH	7,86	7,95	8,04		
P. TOTAL	0,067	0,074	0,197	mg/l	como Fósforo
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0,008	0,011	0,003	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,205	0,173	0,153	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	83,0	96,0	87,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	36,0	64,0	69,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	47,0	32,0	18,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	78,0	83,0	75,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	35,0	59,0	61,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	43,0	24,0	14,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5,0	13,0	12,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	1,0	5,0	8,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	4,0	8,0	4,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,3	8,15	7,8	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,65	0,69	0,46	mg/l	
PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES	9,20E+04	1,70E+03	3500 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	1,40E+04	430	1300 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 10: Resultados de Laboratorio (11 de Noviembre)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Subcuenca Río Mazar
Tipo de fuente:	Superficial
Fecha de toma:	11 de Noviembre de 2015
Fecha de Análisis:	11 de Noviembre de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Rio Mazar Cuenca Alta (Muestra Simple)	Rio Mazar Cuenca Baja (Muestra Compuesta)	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS				
TEMPERATURA	12	16,8	°C.	in situ
TURBIEDAD	1,92	14,3	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	119,9	134,6	us/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS				
PH	8,20	8,19		
P. TOTAL	0,026	0,15	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0,014	0,03	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,142	0,208	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	80,0	110,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	55,0	79,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	25,0	31,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	77,0	95,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	53,0	66,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	24,0	29,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3,0	15,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	2,0	13,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	1,0	2,0	mg/l	
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,10	7,80	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,47	0,33	mg/l	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS				
COLIFORMES TOTALES	70,0	2100 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	33,0	170 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 11: Resultados de Laboratorio (12 de Noviembre)

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Subcuenca Rio Pindilig
Tipo de fuente:	Fuentes superficiales.
Fecha de toma:	12 de Noviembre de 2015
Fecha de Analisis:	12 de Noviembre de 2015
Análisis solicitado por:	Soledad Carrillo y Paola Urgiles

PARAMETROS	Rio Macas	Rio Dudas	Rio Pindilig	UNIDAD	OBSERVACIONES
			Muestra Compuesta		
PARAMETROS FISICOS					
TEMPERATURA	13,0	12,9	15	°C.	in situ
TURBIEDAD	10,7	11,1	8,64	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	79,5	100,4	100,9	us/ cm	
PARAMETROS QUÍMICOS					
PH	7,98	8,16	8,18		
P. TOTAL	0,087	0,140	0,083	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS.	0,011	0,010	0,007	mg/l	como Fósforo
N. NITRATOS	0,298	0,333	0,371	mg/l	como Nitrógeno
SOLIDOS TOTALES	89,0	84,0	92,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	49,0	63,0	68,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	40,0	21,0	24,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79,0	73,0	78,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	42,0	54,0	59,0	mg/l	Medido
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	37,0	19,0	19,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10,0	11,0	14,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	7,0	9,0	9,0	mg/l	Medido
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	3,0	2,0	5,0	mg/l	Medido
OXÍGENO DISUELTO (IN SITU)	8,2	8,1	8,0	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,74	0,97	0,66	mg/l	
PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES	5,40E+04	2,40E+05	9200 *	NMP/100 ML	37°C. 24H
E. COLI	1,10E+04	1,60E+04	9200 *	NMP/100 ML	37°C. 24H

* Muestra puntual tomada a las 14h30
Muestra compuesta tomada en
variabilidad de tiempo
(10h00, 11h30, 13h00, 14h30)

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA