



**MULACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA
ESTANDARIZADA PARA DETERMINAR LA CALIDAD
AMBIENTAL DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS DE
EL SALVADOR, UTILIZANDO INSECTOS ACUÁTICOS**



Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaria Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD)

Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos



AUTORES:

**Dagoberto Pérez
Leopoldo Serrano Cervantes
José Miguel Sermeño Chicas
Monika Springer
Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos
Miguel Ángel Hernández Martínez
Andrés Wilfredo Rivas Flores
Ana Jeannette Monterrosa Urías
Blanca Lorena Bonilla de Torres
Freddy Alexander Carranza Estrada
Juan Milton Flores Tensos
Coralía de los Ángeles González
Pablo E. Gutiérrez Fonseca
Rafael Antonio Menjívar Rosa
Ada Yanira Arias de Linares
Johanna María Chávez Sifontes
Sol María Muñoz Aguillón
Nelsus Armando López Turcios
David Rosales Arévalo**

Ciudad Universitaria, San Salvador, marzo de 2010



Como citar este documento:

Pérez, D. *et. al.* 2010. Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos. *En:* Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 84 pág.

Contacto:

Si desea obtener más información sobre el proyecto y sus resultados, puede contactar al Ing. José Miguel Sermeño Chicas de la Universidad de El Salvador: jmsermeno@yahoo.com

Primera edición, 2010

<http://www.ues.edu.sv/>

595.072

C614 Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador, y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos / Dagoberto Pérez, Leopoldo Serrano Cervantes, José Miguel Sermeño Chicas ,,, [et al.]. -- 1a. ed. -- San Salvador, El Salv. : Editorial Universitaria (UES), 2010
sv 84 p. : il. col. ; 22 cm.
ISBN 978-99923-27-61-6
1. Agua--Aspectos ambientales--El Salvador--Guías. 2. Invertebrados acuáticos--Investigaciones.
BINA I. Pérez, Dagoberto, coaut.

ISBN 978-99923-27-61-6



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

**Rufino Antonio Quezada Sánchez, Ing. Agr. M.Sc.
Rector**

**Miguel Angel Pérez, Arq.
Vice-rector Académico**

**Oscar Noe Navarrete, MAE
Vice-rector Administrativo**

**Reynaldo Adalberto López Landaverde, Dr. Ing. Agr.
Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Mario Antonio Orellana Núñez, Ing. Agr. M. Sc.
Vice Decano, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**Luis Fernando Castaneda Romero, Ing. Agr. M. Sc.
Secretario, Facultad de Ciencias Agronómicas**

**José Miguel Sermeño Chicas, Ing. Agr. M. Sc.
Coordinador General Proyecto OEA-UES Insectos Acuáticos**



Índice

I. Aspectos generales de la investigación	6
Índice de Calidad del Agua (ICA)	7
Estimación del índice de calidad del agua general “ICA”	7
Índice de calidad del agua utilizando invertebrados acuáticos e índice de diversidad	8
Ríos estudiados y sitios de muestreo	12
Objetivos de la investigación	13
II. Resultados obtenidos en la calidad del agua y el comportamiento de las poblaciones de invertebrados acuáticos en cada uno de los ríos	13
1. Río Lempa: Puntos A01.1, A02.2 y A03.3 (Fig.1)	14
1.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	14
1.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	15
2. Río San José: Puntos A04.1 A05.2 y A06.3 (Fig.2)	18
2.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	18
2.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	19
3. Río Sumpul: Puntos A07.1, A08.2 y A09.3 (Fig.3)	21
3.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y microbiológico (ICA)	21
3.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	22
4. Río Torola: Puntos A10.1, A11.2 y A12.3 (Fig.4)	25
4.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)	25
4.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	26
5. Río Sapo y sus tributarios Talchiga, Huaco y Quebrada Las Pilas: Puntos A13.1, A14.2 y A15.3, A16.4, A17.5 (Fig.5)	28
5.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	28
5.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	30
6. Río Sucio y su tributario Río Talnique: Puntos A18.1, A19.2 y A 20.3 (Fig.6)	33
6.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	33
6.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	34
7. Río Suquiapa: Puntos A21.1, A22.2 y A23.3 (Fig.7)	37
7.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)	37
7.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	38
8. Río Acelhuate y su tributario Matalapa: Puntos A24.1, A25.2 y A26.3 (Fig.8)	41
8.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)	41
8.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	42
9. Río Titihuapa: Puntos A27.1, A28.2 y A29.3 (Fig.9)	45
9.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y micro-biológico (ICA)	45
9.2. Interpretación de la información biológica (IBFI-SV-2010)	46
10. Río Acahuapa: Puntos A30.1 A31.2 A32.3 (Fig.10)	48
10.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)	48
10.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	50
11. Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula: Puntos A33.1, A34.2 A35.3 (Fig.11)	53
11.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)	53
11.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	54



12. Río Sensunapán: Puntos D36.1, D37.2, D38.3, D39.4, D40.5, D41.6 (Fig.12).....	57
12.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	57
12.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	58
13. Río San Antonio: Puntos E42.1, E43.2 y E44.3 (Fig.13).....	62
13.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA).....	62
13.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	63
14. Río Comalapa: Puntos E45.1, E46.2, E47.3, E48.4, E49.5 Y E50.6 (Fig.14).....	66
14.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	66
14.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	68
15. Río Jiboa: Puntos F51.1, F52.2 y F53.3 (Fig.15).....	72
15.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA).....	72
15.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	73
16. Río Grande de San Miguel y su tributario Río San Sebastián: Puntos H54.1, H55.2 y H56.3 (Fig.16)	75
16.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)	75
16.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)	77
III. Resultados globales de calidad de las aguas de los ríos donde se realizó el estudio.....	80
IV. Referencias bibliográficas.....	83
V. Agradecimientos	83



Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos

AUTORES:

Dagoberto Pérez¹
Leopoldo Serrano Cervantes²
José Miguel Sermeño Chicas²
Monika Springer³
Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos⁴
Miguel Ángel Hernández Martínez⁵
Andrés Wilfredo Rivas Flores⁶
Ana Jeannette Monterrosa Urías⁷
Blanca Lorena Bonilla de Torres⁸
Freddy Alexander Carranza Estrada⁷
Juan Milton Flores Tensos⁷
Coralia de los Ángeles González⁹
Pablo E. Gutiérrez Fonseca¹⁰
Rafael Antonio Menjívar Rosa²
Ada Yanira Arias de Linares⁷
Johanna María Chávez Sifontes¹¹
Sol María Muñoz Aguillón¹²
Nelsus Armando López Turcios¹
David Rosales Arévalo¹³

I. Aspectos generales de la investigación

En un sistema fluvial ocurren fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que la calidad ambiental y sanitaria puede modificarse de un punto (sitio) a otro, mejorando o degradándose. El Salvador cuenta con una normativa básica respecto a sus recursos hídricos, en forma del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, contenida en el Decreto 40, con base en la Ley de Medio Ambiente de El Salvador (Presidencia de la República de El Salvador, 2000). Para la evaluación y clasificación de la calidad de agua de los principales ríos de El Salvador, llevado a cabo por

¹ Profesor del Departamento de Ciencias Agronómicas, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador

² Profesor de entomología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

³ Profesora de entomología acuática, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica

⁴ Especialista en entomología, consultor independiente

⁵ Profesor de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Postgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

⁶ Profesor de Fitopatología y Microbiología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

⁷ Dirección General de Patrimonio Natural, Gerencia de Vida Silvestre, Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente

⁸ Profesora de Química, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

⁹ Profesora de Microbiología, CENSALUD, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador

¹⁰ Profesor de entomología acuáticos, Universidad de Costa Rica

¹¹ Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

¹² Departamento de Ciencias Agronómicas, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador

¹³ Profesor de acuicultura del Departamento de Biología, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Universidad de El Salvador



la presente investigación en el 2009, se consideró la aplicación de dicho reglamento, en conjunto con el Índice de Calidad del Agua, conocido como ICA (Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET de El Salvador, 2010) y un índice biológico el cual fue desarrollado en el marco del presente proyecto para el país.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un "ICA" cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano al 100%. Este índice fue diseñado en otros países en 1970 y es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes. El "ICA" 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 que permite hacer comparaciones con otros ríos locales e incluso con diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de un río es saludable o no. Para la determinación del "ICA" intervienen nueve parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (NMP/100mL)
- pH (unidad de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (°C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

Estimación del índice de calidad del agua general "ICA"

El "ICA" adopta para condiciones óptimas, un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio (Cuadro 1). Posteriormente al cálculo del índice de calidad de agua de tipo "General", se clasifica la calidad del agua con base a ciertos parámetros.

- Las aguas con "ICA" mayor a 90, de categoría "buena" – "excelente", son capaces de sostener una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería apropiada para todas las formas de contacto directo con ella.
- Las aguas con un "ICA" de categoría "regular" tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.
- Las aguas con un "ICA" de categoría "mala" pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.



- Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “pésima” pueden apoyar solamente una variedad limitada de las formas acuáticas de la vida (especies tolerantes, aunque estas pueden estar presentes en números muy altos); estas aguas presentan problemas abundantes y no serían considerados aceptables para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Cuadro 1. Clasificación del “ICA” propuesto por Brown en 1970.

Calidad de Agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Índice de calidad del agua utilizando invertebrados acuáticos e índice de diversidad







Por otra parte, los organismos o comunidades biológicas de los ecosistemas fluviales manifiestan las características o condiciones ambientales del que forman parte. Las poblaciones bióticas responden particularmente a los cambios de la calidad del agua y de sus diferentes parámetros. Una ventaja de utilizar estas comunidades como indicadores biológicos consiste en el hecho que integran las condiciones a través del tiempo y reflejan la calidad del agua no solamente en el momento del muestreo, si no también indican las condiciones en días anteriores. Por tanto, se considera como un método complementario al uso de índices físico-químicos, como lo es el “ICA”. Debido a esto, se desarrollaron a nivel mundial una gran cantidad de índices biológicos para la estimación de la calidad de agua y la contaminación. Sin embargo, estos índices deben ser adaptados localmente a las condiciones particulares de cada región, país o cuenca.

Inicialmente, el presente proyecto contempló la utilización del Índice “Biological Monitoring Working Party” modificado para Costa Rica (BMWP-CR), para la evaluación de la calidad ecológica del agua de los ríos estudiados. Sin embargo, este índice no manifestó los resultados esperados, por lo que fue necesaria la aplicación de otros índices, siendo uno de ellos el Índice Biológico o Biótico a Nivel de Familias, propuesto por Hilsenhoff (1987, 1988a, 1988b) (IBF o FBI, por sus siglas originales del inglés). Este índice fue adaptado para ser aplicado en la medición de la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, denominándose localmente “IBF-SV-2010”. El índice reconoce taxonómicamente a los macroinvertebrados acuáticos, se contabilizan los individuos de las diferentes familias recolectadas en cada muestra, ponderando la abundancia (cantidad de individuos) de cada una de ellas al multiplicarlas por puntajes (desde cero a diez, según se asocian a condiciones desde menor hasta mayor grado de contaminación orgánica), y calculando al final un promedio de la sumatoria, cuyos valores se comparan con un cuadro de rangos, permitiendo calificar la calidad del agua en siete categorías (Cuadro 2).



El presente estudio con base en recolectas de muestras realizadas entre el 4 de noviembre y el 3 de diciembre de 2009, permitió interpretar la relación existente entre el ICA y el IBF-SV-2010. Es de hacer notar que los datos son puntuales para las condiciones en las que se realizó el estudio. Para mayor información sobre el índice propuesto, se recomienda consultar el documento “Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando Invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador IBF-SV-2010” por Sermeño Chicas *et al.* (2010).

Cuadro 2. Índice Biótico a Nivel de Familias (IBF-SV-2010) basado en Hilsenhoff y adaptado para El Salvador

VALOR IBF-SV-2010	CATEGORIA	CALIDAD DEL AGUA	INTERPRETACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
0.00 – 3.75	 1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 – 4.25	 2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	 3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	 4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	 5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	 6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	 7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

El segundo índice aplicado fue un índice no paramétrico de diversidad, conocido como Índice de Simpson 1949, o también Índice de Simpson–Yule, el cual originalmente y en forma básica, se propuso calcularse con la siguiente fórmula: $IS = \text{Sumatoria } ni (ni-1) / Nt (Nt-1)$; en donde: IS= Índice de Simpson; ni = cantidad de abundancia de cada una de las “i” especies o grupos del mismo nivel taxonómicos en la muestra de organismos recolectados; Nt = cantidad total de organismos del conjunto total de grupos taxonómicos que constituyen la muestra.

Para facilidad la comprensión de la aplicación del índice, éste se ha usado con algunas variaciones, de las cuales la mas común es la versión del valor inverso o valor reciproco que se indica como $1/IS$; es decir $1/ \text{Sumatoria } ni (ni-1)/Nt (Nt-1)$; versión en la que los mayores valores que se puedan obtener corresponden a mayor rango de equitatividad, lo cual se refiere al patrón de distribución mas uniforme de las especies u otros grupos taxonómicos considerados, que se presentan en la comunidad biológica representada por la muestra. En la versión de índice inverso o de valor reciproco, ya descrita, los valores del índice resultan



desde 1 hasta valores mayores de 1. El índice está influenciado directamente por la riqueza de los grupos taxonómicos (Southwood 1978).

En este índice se mide la llamada “diversidad alfa”, la cual esencialmente se refiere a la riqueza de grupos taxonómicos en una muestra (Ej. especies, géneros o familias); explorando la estructura de la comunidad biológica y constituyéndose en un índice de abundancia proporcional orientado a la valoración de dominancia. El valor en su fórmula original se considera que representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar dentro de una comunidad, pertenezcan a un mismo grupo taxonómico (Ej. especies, géneros o familias). Matemáticamente, el índice funciona dando mayor relevancia a los grupos de mayor abundancia (dominancia numérica) dentro de la comunidad (Moreno 2001).

La base racional del Índice de Simpson, descansa en la suposición relacionada con que la abundancia y riqueza en un índice de diversidad indica el estado de la comunidad; dando por aceptado en general, que una baja diversidad indica supuestamente una comunidad sometida a alguna condición de estrés que tiende así a volverla una comunidad biótica o biológica de estructura inestable. En el caso de la aplicación del índice a la calidad de agua; la mayoría de valores de diversidad, incluidos el de Simpson, son menores con una calidad inferior del agua (Norris y Georges 1993).

En este documento se presenta una exposición de los resultados sobre la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos que se encontraron y contabilizaron en diferentes puntos de muestreo de 16 sistemas hidrológicos, proponiendo una interpretación básica acerca de la distribución de la riqueza biológica en cada punto y río muestreado. Esto como apoyo a la calificación de la calidad de las aguas mediante índices biológicos, apoyados en la presencia y abundancia de determinados grupos taxonómicos de organismos utilizados en este estudio.

Se considera conveniente presentar inicialmente un listado de la simbología utilizada para tabular la información concerniente a la abundancia absoluta y relativa de los diferentes grupos taxonómicos (Cuadro 3), encontrados en el estudio, haciendo el presente análisis una mención resumida de los más relevantes; considerando como tal en primer lugar aquellos que se presentaron en poblaciones de diez o más individuos por punto de muestreo, y en segundo lugar aquellos grupos cuya frecuencia relativa (%) fue de diez o más de ese nivel.

**Cuadro 3.** Códigos de referencia de invertebrados contabilizados en ríos de El Salvador

No	Código	Orden	Familia	No	Código	Orden	Familia
1	DipTip	Diptera	Tipulidae	48	TriPhil	Trichoptera	Philopotamidae
2	DipBlep	Diptera	Blephariceridae	49	TriPol	Trichoptera	Polycentropodidae
3	DipPsy	Diptera	Psychodidae	50	TriXip	Trichoptera	Xiphocentronidae
4	DipDix	Diptera	Dixidae	51	TriOdo	Trichoptera	Odontoceridae
5	DipCul	Diptera	Culicidae	52	OdoCal	Odonata	Calopterygidae
6	DipSim	Diptera	Simuliidae	53	OdoCoe	Odonata	Coenagrionidae
7	DipChi	Diptera	Chironomidae	54	OdoLes	Odonata	Lestidae
8	DipCer	Diptera	Ceratopogonidae	55	OdoPla	Odonata	Platystictidae
9	DipTab	Diptera	Tabanidae	56	OdoAes	Odonata	Aeshnidae
10	DipEmp	Diptera	Empididae	57	OdoCog	Odonata	Cordulegastridae
11	DipDol	Diptera	Dolichopodidae	58	OdoCod	Odonata	Corduliidae
12	DipSyr	Diptera	Syrphidae	59	OdoGom	Odonata	Gomphidae
13	DipEph	Diptera	Ephydriidae	60	OdoLib	Odonata	Libellulidae
14	DipMus	Diptera	Muscidae	61	ColDyt	Coleoptera	Dytiscidae
15	DipSar	Diptera	Sarcophagidae	62	ColDry	Coleoptera	Dryopidae
16	DipStr	Diptera	Stratiomyidae	63	ColElm	Coleoptera	Elmidae
17	TriCal	Trichoptera	Calamoceratidae	64	ColHydsc	Coleoptera	Hydroscaphidae
18	TriGlos	Trichoptera	Glossosomatidae	65	ColHydph	Coleoptera	Hydrophilidae
19	TriHel	Trichoptera	Helicopsychidae	66	ColHydr	Coleoptera	Hydraenidae
20	TriHydb	Trichoptera	Hydrobiosidae	67	ColGyr	Coleoptera	Gyrinidae
21	TriHydps	Trichoptera	Hydropsychidae	68	ColLam	Coleoptera	Lampyridae
22	TriHydpt	Trichoptera	Hydroptilidae	69	ColLut	Coleoptera	Lutrochidae
23	TriLept	Trichoptera	Leptoceridae	70	ColLimn	Coleoptera	Limnichidae
24	TriLepd	Trichoptera	Lepidostomatidae	71	ColNot	Coleoptera	Noteridae
25	ColPse	Coleoptera	Psephenidae	72	BlatBlab	Blattodea	Blaberidae
26	ColPti	Coleoptera	Ptilodactylidae	73	Coll	Collembola	Fam. indet.
27	ColHel	Coleoptera	Scirtidae (=Helodidae)	74	EphLep	Ephemeroptera	Leptohyphidae
28	ColSta	Coleoptera	Staphylinidae	75	EphCae	Ephemeroptera	Caenidae
29	ColCur	Coleoptera	Curculionidae	76	EphBae	Ephemeroptera	Baetidae
30	HemGer	Hemiptera	Gerridae	77	EphLepto	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
31	HemVel	Hemiptera	Veliidae	78	EphHep	Ephemeroptera	Heptageniidae
32	HemHeb	Hemiptera	Hebridae	79	Oli	Oligochaeta	Fam. indet.
33	HemHyd	Hemiptera	Hydrometridae	80	Gas	Gastropoda	Fam. indet.
34	HemNep	Hemiptera	Nepidae	81	GasThi	Gastropoda	Thiariidae
35	HemPle	Hemiptera	Pleidae	82	Hir	Hirudinea	Fam. indet.
36	HemCor	Hemiptera	Corixidae	83	Plan	Planaria	Fam. indet.
37	HemNot	Hemiptera	Notonectidae	84	Aca	Acarina	Fam. indet.
38	HemSal	Hemiptera	Saldidae	85	Deca	Decapoda	Fam. indet.
39	HemMes	Hemiptera	Mesoveliidae	86	DecaPse	Decapoda	Pseudotelphusidae
40	HemBel	Hemiptera	Belostomatidae	87	DecaPala	Decapoda	Palaemonidae
41	HemOch	Hemiptera	Ochteridae	88	GasPhy	Gastropoda	Physidae
42	HemGel	Hemiptera	Gelastocoridae	89	GasPla	Gastropoda	Planorbidae
43	HemNau	Hemiptera	Naucoridae	90	GasHyd	Gastropoda	Hydrobiidae
44	PlePer	Plecoptera	Perlidae	91	Bvv	Bivalvos	Fam. indet.
45	LepCra	Lepidoptera	Crambidae	92	BvvSph	Bivalvos	Sphaeriidae
46	MegCor	Megaloptera	Corydalidae	93	Nem	Nematomorpha	Fam. indet.
47	BlatBlat	Blattodea	Blattidae	94	Amp	Amphipoda	Fam. indet.



Ríos estudiados y sitios de muestreo

Durante la etapa de campo se realizaron reconocimientos y muestreos de aguas en 23 ríos representativos de El Salvador, con el apoyo de mapas cartográficos y GPS. Se muestrearon aguas superficiales en 56 sitios de los ríos siguientes: Lempa, San José, Sumpul, Torola, Talchiga, Quebrada las Pilas, Guaco, Sapo, Talnique, Sucio, Suquiapa, Matalapa, Acelhuate, Titihuapa, Acahuapa, Mashtapula, Cara Sucia, Sensunapán, San Antonio, Comalapa, Jiboa, San Sebastián y Grande de San Miguel (Cuadro 4). Las imágenes de cada uno de los puntos en los diferentes ríos se presentan más adelante junto con los resultados de cada uno.

Cuadro 4. Aguas superficiales muestreadas en El Salvador durante el presente proyecto (nov. - dic. 2009), con sus respectivas subcuencas y regiones hidrográficas.

Región Hidrográfica	Subcuenca	Río	
Lempa	Subcuenca Río Lempa	Río Lempa	
	Subcuenca Río San José	Río San José	
	Subcuenca Río Sumpul	Río Sumpul	
	Subcuenca Río Torola		Río Torola
			Río Talchiga
			Quebrada las Pilas
			Río Guaco
			Río Sapo
	Subcuenca Río Sucio		Río Talnique
			Río Sucio
	Subcuenca Río Suquiapa	Río Suquiapa	
	Subcuenca Río Acelhuate		Río Matalapa
			Río Acelhuate
Subcuenca Río Titihuapa	Río Titihuapa		
Subcuenca Río Acahuapa	Río Acahuapa		
Cara Sucia San Pedro	Subcuenca Río Cara Sucia	Río Mashtapula	
		Río Cara Sucia	
Grande de Sonsonate y Banderas	Subcuenca Río Sensunapán	Río Sensunapán	
Mandinga Comalapa	Subcuenca Río San Antonio	Río San Antonio	
	Subcuenca Río Comalapa	Río Comalapa	
Jiboa	Subcuenca Río Jiboa	Río Jiboa	
Grande de San Miguel	Subcuenca Río Grande de San Miguel	Río San Sebastián	
		Río Grande de San Miguel	



Objetivos de la investigación

Para el presente estudio se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y muestreos de organismos acuáticos, con el objetivo de desarrollar la consolidación de un proyecto piloto a nivel nacional que permitió obtener un inventario nacional de los insectos acuáticos de los principales ríos de El Salvador. El estudio involucro las aguas de ríos en la zona montañosa o Cordillera Norte, Cordillera Sur o Cordillera del Bálsamo, Región Central o Valle Interior, incluyendo ríos que pasan por Áreas Naturales Protegidas o Parques Nacionales y los ríos de influencia directa a zonas costeras. Se trabajó con un enfoque de ecosistemas en el cual los puntos de muestreo en los diferentes ríos se analizaron como parte integrante de las cuencas o subcuencas hidrográficas, por tanto, se ha iniciado el proceso de crear (con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica SIG), la línea base de referencia de ecosistemas acuáticos (ríos y sus cuencas) que permitirá el cruce de información ambiental y respuesta de la biodiversidad acuática a los diferentes impactos ambientales. Se cuenta con organismos acuáticos preservados e identificados adecuadamente a nivel de familia que están depositados en la **Colección Nacional de Referencia de Insectos Acuáticos Indicadores de Calidad Ambiental de los Ríos de El Salvador**, ubicado en la planta baja de la Biblioteca de las Ingenierías de la Universidad de El Salvador. Con la ayuda de los sistemas de información geográfica se crearon mapas de ubicación de los puntos (sitios) de muestreo para los diferentes organismos acuáticos, así como la distribución territorial de los mismos (ver Atlas Geográfico de los Insectos Acuáticos Indicadores de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador). El objetivo principal de estos estudios fue desarrollar el Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).

II. Resultados obtenidos en la calidad del agua y el comportamiento de las poblaciones de invertebrados acuáticos en cada uno de los ríos

A continuación se presentan los resultados más relevantes de la calidad del agua para cuerpos de agua superficiales, calidad sanitaria y la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos que se encontraron y contabilizaron en diferentes puntos (sitios) de muestreo, los cuales incluyen en su totalidad 16 sistemas fluviales que se distribuyeron en el territorio de El Salvador; los muestreos se realizaron desde el 4 de noviembre hasta el 3 de diciembre de 2009.

El análisis incluye una interpretación básica acerca de la distribución de la riqueza biológica en las subcuencas y para cada punto de muestreo, utilizando para la calificación de la calidad de las aguas, índices bióticos y ecológicos, los cuales toman en cuenta la presencia y abundancia de determinados grupos taxonómicos (en su mayoría familias), reportados en este estudio. Para profundizar con los aspectos relacionados con los organismos acuáticos, se sugiere revisar las diez "Guías ilustradas para el estudio ecológico y taxonómico de los Insectos Acuáticos de los ríos El Salvador", publicadas también como producto del presente proyecto (2010).



1. Río Lempa: Puntos A01.1, A02.2 y A03.3 (Fig.1)

1.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 5) muestran que en los tres sitios estudiados en el Río Lempa, existen pequeñas diferencias en algunos parámetros, mientras que en otros los cambios son mayores, manifestando mayores niveles de contaminación. Con respecto a los parámetros Turbidez, Fosfatos, Nitratos, DBO5 y Sólidos Totales Disueltos (STD), se observa que estas presentan ciertas variaciones, debido probablemente a los efectos antropogénicos, especialmente en los puntos con mayor presión de asentamientos urbanos.

En cuanto a los coliformes fecales, en los primeros dos puntos muestreados, los valores se mantienen bastante altos; solamente el punto A03.3 muestra un decremento muy notorio, lo cual se debe posiblemente a que este punto se encuentra posterior a una presa hidroeléctrica.

Utilizando los parámetros de calidad de agua delimitados para los cuerpos de agua superficiales, como el Índice de Calidad del Agua (ICA), se muestra que la subcuenca Río Lempa se encuentra bastante impactada en la calidad, aunque presenta una tendencia a mejorar levemente en el transcurso del cauce, aguas abajo, en el punto A03.3 (Cuadro 5).

Los valores obtenidos en los parámetros están asociados a los impactos generados por diversas circunstancias, especialmente de carácter antropogénico; por ejemplo las concentraciones del oxígeno disuelto no logran estabilizarse en el valor mínimo requerido, y por otra parte los análisis microbiológicos indican alta contaminación por aguas residuales, aunque la tendencia es disminuir la cantidad desde el punto más alto de la cuenca (A01.1) hasta el más bajo (A03.3) (Cuadro 5). En este último sitio se debe de considerar la particularidad de la existencia de una represa hidroeléctrica de grandes dimensiones (Presa San Lorenzo), la cual almacena el agua en forma temporal, pasando por las turbinas (acción mecánica) y generando posteriormente la continuidad del sistema fluvial.

Cuadro 5. Análisis fisicoquímico y microbiológico de las aguas del Río Lempa y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40)

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 ml)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A01.1	Lempa	712	26.00	23.00	7.38	4.65	60.00	54.90	21.00	0.40	6.00	2.46	160000.00	43.02	Mala
Limite Decreto No.40				C*	C*	NC*			NC*			C*	NC*		
A02.2	Lempa	300	30.00	28.00	7.50	4.80	61.90	63.90	56.00	0.70	5.90	1.77	11000.00	49.02	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	C*	NC*			NC*			C*	NC*		
A03.3	Lempa	23	23.00	28.00	7.80	4.44	62.80	52.10	36.00	0.30	5.40	2.04	400.00	61.84	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	C*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40



De los parámetros evaluados, los valores del Oxígeno Disuelto y de la Turbidez no cumplen con los límites establecidos para El Salvador en ninguno de los puntos evaluados; el DBO5 es el único que cumple en todos los puntos muestreados; el pH no cumple en el punto A03.3, mientras que los valores de Coliformes fecales únicamente cumplen con los límites en este mismo punto, A03.3 (Cuadro 5). Estos resultados resultan en la asignación de categorías de calidad “mala” para el agua en los puntos A01.1 y A02.2 por lo que pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación. El punto A03.3 presenta una calificación de “regular”, debido en gran medida a la disminución en la cantidad de los coliformes fecales (Cuadro 5).

1.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser relativamente parecidos entre los sitios, con cantidades de alrededor de 200 individuos (Cuadro 6). La cantidad de familias (riqueza) en los tres puntos tiende a reducirse claramente desde el punto más alto hasta el más bajo del río, en el cual se reduce a la mitad, con respecto al punto anterior, con únicamente 7 familias, lo cual presenta una diversidad muy baja. Al someter todas las familias e individuos de la recolecta total en cada punto, al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso, se observa que el segundo punto tiene un valor notablemente mayor que los otros dos; lo cual sugiere una condición de menor perturbación ambiental en dicho punto, en relación con los otros dos; de los cuales el tercero parece ser el peor, ambientalmente hablando, es decir en términos de la distribución de la riqueza de familias. Conviene reflexionar que en el tercer punto, ya existe mayor cantidad acumulada de ríos tributarios, con sus correspondientes efectos ecológicamente perturbadores de origen antropogénico; además de estar ubicado justo aguas abajo de una gran represa hidroeléctrica, la cual afecta la fauna acuática en forma significativa, como lo han comprobado muchos estudios alrededor del mundo.

Debe recordarse que el primer punto del río, donde la calidad del agua ha sido calificada como “pobre” por el IBF-SV-2010, es un punto en un cauce de pendiente suave y probablemente impactado por factores de origen antropogénico, proveniente de los asentamientos humanos en territorios de Honduras (Ej. Nueva Ocotepeque) y Guatemala (Ej. Esquipulas) que conforman la cabecera de la cuenca de este río. En el segundo punto (donde el agua ha sido calificada como “regular” por el IBF-SV-2010), el río ha aumentado su anchura, su caudal y la pendiente de su curso, pasando por fondos de rocas que contribuyen a oxigenarlo; a pesar de que también ha recibido varios afluentes dentro del territorio nacional, que producen algún nivel de impacto en sus aguas. En el caso del tercer punto (en el cual la calidad del agua ha sido calificada de nuevo como “pobre” por el IBF-SV-2010), debe considerarse que está ubicado inmediatamente aguas abajo de una represa hidroeléctrica de grandes dimensiones (Presa San Lorenzo), en la cual el almacenamiento masivo temporal y luego el paso del caudal por las turbinas, debe afectar al menos físicamente las condiciones del agua y hasta mecánicamente a la biota de la misma, reduciendo su riqueza y diversidad, ente otros posibles impactos. Este impacto de la represa



puede ser la posible razón por la que el índice biológico (IBF-SV) dio un resultado de menor calidad (pobre) que el índice ICA (regular), en este punto de muestreo.

Cuadro 6. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Lempa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A01.1	A02.2	A03.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV-2010)	6,78	5.31	6.92
Calidad del agua	Pobre	Regular	Pobre
Total de individuos (n)	201	178	254
Total de familias (S)	16	14	7
1/índice de Simpson	3.41	9.69	2.73

Considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio o punto de muestreo y con base en la abundancia relativa (Cuadro 7), resaltan como más sobresalientes las familias Chironomidae (Díptera) y Leptohiphidae (Ephemeroptera); seguidos por Leptophlebiidae (Ephemeroptera) para el primer punto. En el punto A02.2 resaltan las familias Leptohiphidae y Leptophlebiidae (Ephemeroptera) y la familia Hydropsychidae (Trichoptera), seguidos con valores un poco menores por Leptophlebiidae (Ephemeroptera), Naucoridae (Hemiptera), Gomphidae (Odonata) y Thiaridae (Gastropoda). En el tercer punto predominan las familias Chironomidae (Diptera) y Leptohiphidae (Ephemeroptera), seguidos por Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Resulta clara la importancia porcentual de las poblaciones de Chironomidae (prácticamente la mitad de la recolecta general de organismos) en los puntos primero y tercero; aunque es notoria su aparente ausencia en el segundo punto. También se aprecia una probable tendencia a una reducción de las poblaciones relativas de Leptohiphidae y Leptophlebiidae desde el primer punto (A01.1) hacia el segundo (A02.2) y tercero (A03.3) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontradas en los diferentes puntos muestreados del Río Lempa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A01.1		A02.2		A03.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	93	46,27			136	53,54
EphLepto	51	25,37	31	17,42	38	14,96
EphLep	21	10,45	19	10,67	60	23,62
EphBae	15	7,46				
TriHydps			28	15,73		
HemNau			17	9,55		
OdoGom			16	8,99		
GasThi			15	8,43	14	5,51
ColElm			11	6,18		



Para la interpretación general de los resultados se utilizaron diferentes índices (Cuadro 8) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado. Este análisis permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Lempa presentan niveles de contaminación (sobre todo por materia fecal) más en los primeros dos puntos aguas arriba y reduciéndose un poco en el último punto (A03.3), aunque este último también presenta un impacto negativo sobre la fauna debido a la represa.

Cuadro 8. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios del Río Lempa, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A01.1	712	Cumple con dos parámetro de seis: pH y Temp. del agua	43,02 (Mala)	3,41	6,78 (Pobre)	Chironomidae 46,27 (Diptera) Leptophlebiidae 25,37 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 10,45 (Ephemeroptera)
A02.2	300	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y pH	49,02 (Mala)	9,69	5,31 (Regular)	Leptophlebiidae 17,42 (Ephemeroptera) Hydropsychidae 15,73 (Trichoptera) Leptohyphidae 10,67 (Ephemeroptera)
A03.3	23	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y Coliformes fecales	6,84 (Regular)	2,73	6,92 (Pobre)	Chironomidae 53,54 (Diptera) Leptohyphidae 23,62 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 14,96 (Ephemeroptera)

Todo lo anterior conduce a reconocer la necesidad de implementar medidas tendientes a disminuir los procesos contaminantes (sobre todo por coliformes fecales) en la cuenca del Río Lempa, o al menos evitar que continúe con su proceso acelerado de deterioro, lo cual es factible conocer si se realizan monitoreos periódicos y se implementan las acciones necesarias.



Figura 1. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Lempa, 2009



2. Río San José: Puntos A04.1 A05.2 y A06.3 (Fig.2)

2.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Al analizar los resultados de los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 9), se confirma que en las partes altas de la cuenca del río, los niveles de Oxígeno Disuelto (OD) y Porcentaje de saturación son altos, como resultado de una buena oxigenación generada por las caídas naturales de agua que allí existen, especialmente aguas arriba del punto A04.1; aunque estas cantidades de Oxígeno Disuelto tienden a disminuir hacia la parte baja de la cuenca.

Respecto a los parámetros: Turbidez, Fosfatos, Nitratos, DBO5 y Sólidos Totales Disueltos (STD), se observa que presentan ciertas variaciones, debido probablemente a efectos antropogénicos, especialmente en los puntos más bajos de la subcuenca, ya que la presión de asentamientos urbanos se incrementa a medida que el río desciende de las partes altas.

En cuanto a los Coliformes fecales, en los primeros dos puntos muestreados, el valor se mantiene constante y relativamente bajo. Sin embargo, en el punto A06.3 este parámetro sufre un incremento muy notorio, y se debe muy posiblemente a que este punto se encuentra a la salida de la ciudad donde el río es utilizado como vertedero de aguas servidas.

Cuadro 9. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río San José y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A04.1	San José	830	24.20	18.00	8.10	7.28	88.30	41.10	12.00	0.40	3.70	1.71	200.00	67.50	Regular
Limite Decreto No. 40				NC*	NC*	C*			NC*			C*	C*		
A05.2	San José	542	28.10	23.00	8.30	5.76	76.80	72.20	10.00	0.30	3.50	5.04	200.00	65.17	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			NC*	C*		
A06.3	San José	478	27.50	26.00	8.50	5.07	67.60	97.10	11.00	0.60	4.10	3.60	160000.00	43.72	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, el pH y la Turbidez no cumplen con los límites establecidos para El Salvador en ninguno de los puntos evaluados; siendo el Oxígeno Disuelto cumple en los tres sitios muestreados y el DBO5, que cumple en todos excepto en el A05.2; por otro lado, los resultados para los Coliformes fecales cumplen con la normativa en los dos



primeros puntos aguas arriba (A04.1 y A05.2). Estos resultados resultan en la asignación de calificaciones de “regular” para los primeros dos puntos y “mala” para el punto A06.3.

2.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (n) de invertebrados (abundancia), en este río, resultó ser mayor en los puntos intermedio A05.2 y bajo A06.3, con cantidades de alrededor de 1,500 individuos, mientras que en el punto más alto A04.1, se recolectaron un poco más de 700 individuos (Cuadro 10). La cantidad de familias (riqueza) encontrada, fue mayor en el sitio intermedio, con 45 familias identificadas, mientras que el punto arriba y abajo presentaron 30 y 37 familias de invertebrados, respectivamente.

Al someter todas las familias e individuos de la recolecta total en cada punto, al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso, el primer punto tiene un valor notablemente menor que los de los puntos segundo o tercero (de los cuales el segundo es un poco mayor que el tercero) (Cuadro 10). Esto indica que hay mayor tendencia a predominio de algunos grupos taxonómicos, en este caso de la familia Elmidae (que representa casi el 50% de la recolecta), la cual es una familia asociada a la presencia de materia orgánica particular, especialmente en forma de hojarasca sumergida, en proceso de descomposición, lo cual concuerda con la condición de menor perturbación ambiental en dicho sitio en relación con los dos siguientes, en los cuales la intervención humana es mas clara y donde la dominancia de esta familia se pierde.

Debe recordarse que el primer punto del río (donde el agua ha sido calificado como buena, por el IBF-SV-2010) es un sitio menos impactado por efectos antropogénicos y se encuentra ubicado en el Parque Nacional Montecristo, y ya en el segundo (donde el agua ha sido calificada como “regular” por el IBF-SV-2010), el uso del agua es más notorio; y mucho mas aún en el tercero (donde la calidad del agua ha sido calificada como “regular pobre” por el IBF-SV-2010), donde el río ya transporta todos los desechos y aguas servidas de la ciudad de Metapán.

Cuadro 10: Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río San José, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A04.1	A05.2	A06.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	4,72	5,72	6,21
Calidad del agua	Bueno	Regular	Regular Pobre
Total de individuos (N)	706	1651	1449
Total de familias (S)	30	45	37
1/Índice de Simpson	3.85	5.38	4.77



Considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, y con base en abundancia relativa (Cuadro 11), resaltan las familias Elmidae (Coleoptera) para el primer punto, con casi la mitad de los individuos encontrados; Leptohephyidae y Baetidae (Ephemeroptera), en el segundo punto, al igual que en el tercero, aunque en este último también tienen cierta abundancia las larvas de la familia Chironomidae (Diptera).

Cuadro 11. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de invertebrados encontrados en los diferentes puntos muestreados del Río San José, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A04.1		A05.2		A06.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	11	1,56	72	4,36	177	12,22
EphLepto	16	2,27	25	1,51	31	2,14
EphLep	21	2,97	514	31,13	576	39,75
EphBae	68	9,63	445	26,95	225	15,53
TriHydps	23	3,26	31	1,88		
HemNau			18	1,09	14	0,97
OdoGom			20	1,21	16	1,10
ColElm	341	48,30	121	7,33		
HemGer	65	9,21			28	1,93
HemVel	47	6,66	107	6,48	108	7,45
PlePer	25	3,54	31	1,88		
TriLept			29	1,76		
OdoCoe			11	0,67	35	2,42
ColDry			24	1,45		
MegCor			11	0,67		
DipSy			11	0,67		
DipSim			93	5,63		
OdoCal					41	2,83
OdoCod					12	0,83
ColSta					13	0,90
HemBel					14	0,97
Gas					99	6,83
Hir					13	0,90

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 12) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río San José presentan niveles de contaminación muy variables, mostrando en general una tendencia a deterioro partiendo del punto más alto de la cuenca (A04.1) donde califica mediante el índice biológico (IBF-SV-2010) como “buena”, después “regular” en el A05.2 y más deteriorado el último punto (A06.3), con la calificación de “regular-pobre”: Estos resultados coinciden con el ICA que pasa de calidad “regular” a “mala” conforme se avanza aguas abajo en la cuenca.



Cuadro 12. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres puntos del Río San José, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A04.1	830	Cumple tres de seis parámetros: Oxígeno Disuelto, DBO5 y Coliformes fecales	67,50 (Regular)	3,85	4,72 (Bueno)	Elmidae 48,30 (Coleóptera) Baetidae 9,63 (Ephemeroptera) Gerridae 9,21 (Hemiptera)
A05.2	542	Cumple tres de seis parámetros: Oxig. Dis., DBO5 y Colif. fecales	65,17 (Regular)	5,38	5,72 (Regular)	Leptohiphidae 31,13 (Ephemeroptera) Baetidae 26,95 (Ephemeroptera) Elmidae 7,33 (Coleóptera)
A06.3	478	Cumple tres de seis parámetros: Temp. del agua, DBO5 y Oxig. Dis.	43,72 (Mala)	4,77	6,21 (Regular Pobre)	Leptohiphidae 39,75 (Ephemeroptera) Baetidae 15,53 (Ephemeroptera) Chironomidae 12,22 (Diptera)

Los resultados están relacionados con las condiciones predominantes en los diferentes puntos (Fig. 2) e indican la necesidad de implementar medidas tendientes a disminuir los procesos contaminantes; especialmente a partir del punto intermedio donde la situación inicia un proceso de contaminación, siendo ésta más grave en el punto más bajo (A06.3). Lo anterior implica mantener programas de monitoreo oportunos (y periódicos) e implementar las acciones necesarias.



Figura 2. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río San José, 2009.

3. Río Sumpul: Puntos A07.1, A08.2 y A09.3 (Fig.3)

3.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y microbiológico (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 13), se puede observar que en el primer punto estudiado del Río Sumpul, las poblaciones de Coliformes fecales son muy bajas, aunque dan muestras de un proceso ascendente hacia el segundo punto aguas abajo, lo que principalmente produce la baja de la calidad del río en este punto. Sin embargo, para el punto tres las cantidades de Coliformes fecales disminuyen nuevamente, aunque sin llegar a niveles aceptables. El Oxígeno Disuelto y el Porcentaje de saturación va aumentando a medida que el río hace su recorrido, manteniéndose en valores cercanos al mínimo requerido para el desarrollo de la vida acuática (4-5 mg/L), principalmente en el punto A07.1, donde el caudal del río es pequeño y no posee sistemas de aireación en su recorrido. El río logra airearse un poco a medida que pasa por los otros dos puntos. Los valores de Turbidez,



Sólidos Totales Disueltos, Nitratos y Fosfatos se encuentran prácticamente en niveles bajos. En general hay varios elementos que determinan un deterioro partiendo desde las partes altas hacia las bajas, producto de muchos factores, principalmente de la acción humana cuyo impacto se hace más evidente en los dos puntos más bajos.

Cuadro 13. Análisis físico-químico y microbiológico de aguas del Río Sumpul y relación con Normas Técnicas de Calidad de Agua (aguas superficiales, Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A07.1	Sumpul	2152	19.60	12.00	7.70	4.93	65.90	20.50	9.00	0.19	3.00	2.37	<2	74.68	Buena
Limite Art. 40				NC*	NC*	NC*			NC*			C*	C*		
A08.2	Sumpul	401	30.00	24.00	8.90	5.26	66.50	29.50	4.00	3.40	3.30	0.16	24000.00	43.67	Mala
Limite Art. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	NC*		
A09.3	Sumpul	227	32.00	24.00	8.25	5.70	73.20	43.30	5.00	0.53	3.60	0.45	2300.00	57.19	Regular
Limite Art. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, solo los valores de pH, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador en ninguno de los tres puntos evaluados. El parámetro Turbidez, al igual que la Temperatura del agua y el oxígeno disuelto, cumple con los valores obtenidos en el punto intermedio y bajo (A08.2 y A09.3), no así en A07.1. El nivel de Coliformes fecales cumple el nivel permisible únicamente en el punto A07.1. Estos resultados resultan en la asignación de categorías de calidad “buena” para el agua del punto A07.1; “mala” para A08.2 y “regular” para el último punto A09.3, aguas abajo (Cuadro 13).

3.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser mayor en los puntos bajo (A09.3) y primero (A07.1), con respecto al punto intermedio (A08.2), doblando o casi triplicando la cantidad de dicho punto (Cuadro 14). La cantidad de familias es mayor en el sitio aguas arriba (A07.1) y disminuye conforme el río avanza, siendo más baja en el punto bajo (A09.3), con 25 familias encontradas (Cuadro 14).

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; el último punto tiene un valor notablemente menor que los puntos primero y segundo (los cuales presentan valores más o menos parecidos); lo cual indica que hay menor distribución equitativa de la riqueza de familias en el tercer punto, posiblemente debido a una condición de mayor perturbación ambiental en dicho sitio en relación con los dos anteriores donde la intervención humana es menor, ya que las poblaciones humanas de la cuenca son de menor tamaño.



Debe recordarse que el primer punto del río, donde la calidad del agua ha sido calificada como “buena” por el IBF-SV-2010, es un sitio menos impactado por efectos antropogénico. En el segundo y tercer sitio, donde la calificación de la calidad ambiental del agua ha sido “regular” por el IBF-SV-2010, el uso del agua es más notorio y mucho más en el tercero.

Cuadro 14. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Sumpul, El Salvador 2010.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A07.1	A08.2	A09.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	4.59	5.17	5.68
Calidad del agua	Bueno	Regular	Regular
Total de individuos (N)	541	277	743
Total de familias (S)	32	20	25
1/Índice de Simpson	8.07	9.00	5.07

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 15) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, con base en abundancia relativa, resaltan las familias Hydropsychidae (Trichoptera) para el primer sitio; Chironomidae (Diptera); Leptohiphidae y Baetidae (Ephemeroptera) para el segundo sitio; y Baetidae (Ephemeroptera) para el tercer punto, esta última con una frecuencia notablemente grande (alrededor del 40%). Llama la atención observar como solo el segundo punto parece favorecer la abundancia relativa de Chironomidae; y por otro lado, Baetidae se favorece en el segundo punto, pero duplica su importancia en el tercer punto. La familia Hydropsychidae parece encontrar condiciones favorables para su proliferación solo en el primer punto, al igual que la familia Elmidae.

Cuadro 15. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontrados en los diferentes puntos muestreados del Río Sumpul, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómica	Puntos de muestreo					
	A07.1		A08.2		A09.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	19	3,51	52	18,77	45	6,06
EphLepto			11	3,97	73	9,83
EphLep			63	22,74		
EphBae	35	6,47	57	20,58	300	40,38
TriHydps	129	23,84	29	10,47	38	5,11
ColElm	115	21,26			34	4,58
HemVel					23	3,10
PlePer	42	7,76	15	5,42	19	2,56
MegCor					18	2,42
DipSim	19	3,51			58	7,81
Amp	25	4,62				
DipTip	31	5,73	17	6,14	26	3,50
TriLepd	30	5,55	22	7,94		
DecaPse	18	3,33				
Tri Odo			21	7,58		
OdoLib			12	4,33		



Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 16) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado. Esto permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Sumpul, presentan niveles de contaminación muy variables con una tendencia a deterioro aguas abajo del punto más alto de la cuenca (A07.1), el cual recibe la calificación de “buena” tanto con el índice físico-químico (ICA), como biológico (IBF-SV-2010). Los siguientes puntos califican como “regular” e incluso “mala” en sus parámetros físico-químicos en el sitio intermedio.

Cuadro 16. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios del Río Sumpul, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A07.1	2152	Cumple dos de seis parámetros: colif. Fecales y DBO5	74,68 (Buena)	8,07	4,59 (Buena)	Hydropsychidae 23,84 (Trichoptera) Elmidae 21,26 (Coleóptera) Perlidae 7,76 (Plecoptera)
A08.2	401	Cumple cuatro de seis parámetros: turbidez, Temp. del Agua, DBO5 y OD	43,69 (Mala)	9,00	5,17 (Regular)	Leptohyphidae 22,74 (Ephemeroptera) Baetidae 20,58 (Ephemeroptera) Chironomidae 18,77 (Diptera)
A09.3	227	Cumple cuatro de seis parámetros: turbidez, Temp. del agua, DBO5 y OD	57,19 (Regular)	5,07	5,68 (Regular)	Baetidae 40,38 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 9,83 (Ephemeroptera) Simuliidae 7,81 (Diptera)

Lo anterior indica la necesidad de implementar medidas tendientes a disminuir los procesos contaminantes, especialmente a partir del punto intermedio donde la situación inicia un proceso de contaminación, manteniéndose de esta forma hacia la cuenca baja. Debido a que este río aún no se encuentra con graves problemas de contaminación, es importante mantener programas de monitoreo oportunos e implementar las acciones necesarias para evitar un mayor deterioro.



Figura 3. Vista general de cada uno de los puntos muestreado del Río Sumpul, 2009.



4. Río Torola: Puntos A10.1, A11.2 y A12.3 (Fig.4)

4.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

En los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 17), se puede observar que en el primer punto estudiado del Río Torola, las poblaciones de Coliformes fecales son mayores con relación al segundo punto, sin embargo dicha cantidad es superada por las existentes en el tercer punto muestreado aguas abajo, lo que principalmente produce la baja de la calidad del río en esos puntos.

El Oxígeno disuelto (OD) y el porcentaje de saturación presenta pequeñas variaciones en el recorrido desde el punto alto y bajo con respecto al intermedio, aumentando y luego disminuyendo, aunque manteniéndose en valores cercanos al mínimo requerido para el desarrollo de la vida acuática (4-5 mg/L). El río logra airearse un poco en el punto intermedio, dicha situación se pierde nuevamente en el punto más bajo. Los valores de Turbidez, Sólidos Totales Disueltos y Fosfatos son relativamente variables entre los puntos extremos e intermedios; situación que determina el fenómeno de mas deterioro en los extremos muestreados, producto de diversos factores de contaminación, principalmente la acción humana cuyo impacto se hace mas evidente en los dos puntos extremos; el caso de los nitratos se encuentran por debajo del mínimo permisible (5 mg/L).

Cuadro 17. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Torola y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A10.1	Torola	337	16.00	22.00	7.90	4.91	63.00	48.50	5.00	0.50	3.50	0.56	1300.00	61.24	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
A11.2	Torola	306	20.00	24.00	8.30	5.30	68.10	48.50	5.00	2.02	3.00	0.80	2.00	73.21	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	C*		
A12.3	Torola,	298	29.00	24.00	8.20	4.79	62.00	55.40	6.00	0.50	2.90	1.95	2300.00	57.80	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, únicamente los resultados de los parámetros pH no cumplen con los límites establecidos para El Salvador en ninguno de los puntos evaluados; siendo que los valores de Oxígeno Disuelto y Coliformes fecales que cumplen en el punto intermedio (A11.2), no así en los puntos A10.1 y A12.3. Estos resultados resultan en la asignación de



calificación según el ICA de “regular” para los puntos extremos (A10.1 y A12.3 en orden descendente) y “buena” en el punto intermedio (A11.2).

4.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río resultó ser muy parecido en los tres puntos, con poco más de 1000 individuos en cada uno (Cuadro 18).

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; el último punto tiene un valor menor en el puntos primero A10.1 (3.93); lo cual indica que hay menor tendencia a una distribución equitativa de la riqueza de familias en dicho punto en relación a los otros dos (A11.2 y A12.3), en los cuales el valor es más alto y prácticamente similar, indicando una tendencia a mayor equitatividad en la distribución de la riqueza de familias (lo cual correspondería a un ambiente probablemente menos perturbado en términos ecológicos), del primer punto en relación a los puntos intermedio y bajo del río.

Pese a las consideraciones anteriores, debe recordarse que prácticamente en los tres puntos, la calidad ambiental del agua ha sido calificada por el IBF-SV-2010, con categorías desde “regular” a “pobre”, siendo un tanto mejor la del punto intermedio; aunque de nuevo en el tercer punto la calidad vuelve a ser de calidad “regular-pobre”.

Cuadro 18. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Torola, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A10.1	A11.2	A12.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	5,86	5,66	6,34
Calidad del agua	Regular Pobre	Regular	Regular Pobre
Total de individuos (n)	1378	1102	1189
Total de familias (S)	38	36	33
1/Índice de Simpson	3.93	6.32	6.72

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 19) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio y con base en las abundancias relativas, resaltan las familias Baetidae (Ephemeroptera), para los puntos primero (superior) y segundo (intermedio) y Chironomidae (Diptera), para el tercero (inferior). Tales familias alcanzan alrededor de la tercera parte de la recolecta general, en términos de abundancia relativa. En el punto superior, la familia Leptophlebiidae (Ephemeroptera), también muestra un porcentaje relativamente importante. Las familias Chironomidae tienen una baja importancia relativa, en los puntos superior e intermedio, y Baetidae, en el punto más bajo del río.



Cuadro 19: Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontrados en los diferentes puntos muestreados del Río Torola, El Salvador, 2009

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A10.1		A11.2		A12.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	88	6,39	69	6,26	378	31,79
EphLepto	242	17,56	80	7,26	25	2,10
EphLep	61	4,43	240	21,78	62	5,21
EphBae	636	46,15	336	30,49		
TriHydps	14	1,02				
OdoGom	10	0,73	34	3,09	41	3,45
ColElm	38	2,76	28	2,54	38	3,20
HemGer					74	6,22
HemVel	49	3,56	59	5,35	28	2,35
PlePer	19	1,38	15	1,36		
TriLept					10	0,84
OdoCoe	35	2,54			24	2,02
ColDry			51	4,63	197	16,57
MegCor	13	0,94				
DipPsy	10	0,73	12	1,09		
DipSim	13	0,94	10	0,91		
OdoCal			12	1,09		
ColSta					10	0,84
GasThi					61	5,13
TriGlos	11	0,80	31	2,81		
TriHydpt	14	1,02				
OdoLib	45	3,27	24	2,18	21	1,77
HemNau	14	1,02				
HemMes			31	2,81	16	1,35
TriCal					11	0,93
ColDyt					55	4,63
ColHydph					84	7,06
HemCor					17	1,43

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 20) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado, lo que permite ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Torola, presentan en general un nivel de contaminación bastante uniforme, con aguas de calidad regular a regular-pobre, indicado por ambos índices (físico-químico y biológico).

Cuadro 20. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios del Río Torola, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A10.1	337	Cumple tres de seis parámetros: Turbidez, Temp. del agua, DBO5	61,24 (Regular)	3,93	5,86 (Regular-Pobre)	Baetidae 46,15 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 17,56 (Ephemeroptera) Chironomidae 6,39 (Diptera)
A11.2	306	Cumple cuatro de seis parámetros: Temp. del agua, OD., Turbidez y Col. Fecales	73,21 (Buena)	6,32	5,66 (Regular)	Baetidae 30,49 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 21,78 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 7,26 (Ephemeroptera)
A12.3	298	Cumple dos de seis parámetros: Temp. del agua y DBO5	57,80 (Regular)	6,72	6,34 (Regular - Pobre)	Chironomidae 31,79 (Diptera) Dryopidae 16,57 (Coleoptera) Hydrophilidae 7,06 (Coleoptera)



En conclusión, las aguas del Río Torola en los tres puntos de estudio mencionados (Fig. 4), a pesar de presentar aguas de calidad regular, aún no ha sido fuertemente impactado y mantienen una fauna relativamente diversa, por tanto, es necesario mantener un programa de monitoreo oportuno e implementar las acciones necesarias para evitar un mayor deterioro de la cuenca.



Figura 4. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Torola, 2009.

5. Río Sapo y sus tributarios Talchiga, Huaco y Quebrada Las Pilas: Puntos A13.1, A14.2 y A15.3, A16.4, A17.5 (Fig.5)

Aclaración previa: El presente complejo hidrológico, se considera así porque constituye parte de una red especial de pequeños y medianos cursos de agua que fluyen desde terrenos fronterizos entre las Repúblicas de Honduras y El Salvador, en los que los asentamientos humanos son pocos, dispersos y relativamente poco densos. Esta red hídrica tiene un drenaje natural común que es el Río Sapo (representado por los puntos A16.4 y A17.5), que a su vez es un tributario importante del Río Torola, objeto de discusión en párrafos anteriores a la presente sección.

5.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Los valores de Turbidez, Fosfatos, Nitratos, DBO_5 , Coliformes fecales, Sólidos Totales Disueltos y pH, prácticamente no presentan variaciones significativas en los puntos muestreados (Cuadro 21). Esto se puede atribuir a que estos puntos se encuentran dentro de un Área Natural Protegida y por tanto, no sufren de contaminación notoria debida a asentamientos humanos.

Al analizar los resultados desde la óptica de los análisis fisicoquímico, el porcentaje de Saturación de Oxígeno está un poco arriba del 50% y el Oxígeno disuelto está cercano a los límites mínimos establecidos para aguas de ríos (4–5 mg/L), situación que puede ser debido a que no existen muchos sistemas de aireación que permitan incorporar oxígeno al cuerpo de agua. La Turbidez se encuentra baja y también los niveles de nitratos se encuentran por debajo del mínimo permisible (5 mg/L).



Al analizar los resultados de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas, se puede observar que todos los puntos no presentan mayores problemas de incidencia, lo cual se convierte en un reto para mantener localmente dichos niveles bajos; ya que es una garantía de buena calidad de agua. En general, asegurar un buen plan de manejo de dicha microcuenca es un reto para los tomadores de decisiones pero principalmente para los pobladores de la zona, quienes deben garantizar que sus recursos de agua no se afecten significativamente por procesos de contaminación.

Cuadro 21. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Sapo y sus tributarios Talchiga, Quebrada Las Pilas y Huaco y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A13.1	Talchiga	730	21.00	19.00	7.16	5.28	68.80	21.10	5.00	0.25	2.90	0.65	2.00	86.23	Buena
Limite Decreto No. 40				NC*	C*	C*			C*			C*	C*		
A14.2	Quebrada Las Pilas	720	21.50	21.00	7.12	5.33	68.80	24.70	4.00	0.30	3.70	0.58	2.00	84.63	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	C*	C*			C*			C*	C*		
A15.3	Huaco	660	33.00	23.00	7.21	4.94	64.10	17.40	3.00	0.80	3.20	0.40	2.00	73.83	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	C*	NC*			C*			C*	C*		
A16.4	Sapo	650	29.00	20.00	7.27	5.21	67.40	20.60	4.00	0.60	3.60	0.62	2.00	72.74	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	C*	C*			C*			C*	C*		
A17.5	Sapo	640	15.50	23.00	7.69	5.16	66.70	20.60	4.00	0.80	3.50	0.55	2.00	77.24	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	C*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, los valores de Turbidez, DBO5 y Coliformes fecales cumplen en todos los puntos muestreados. Estos resultados permiten asignar calificación de agua de buena calidad; según el ICA, para todos los puntos muestreados. Tal situación indica que estas aguas aparentemente aún no están sometidas a procesos de contaminación acelerados, lo cual debe tomarse en cuenta con el fin de mejorar los pocos recursos hídricos que se mantienen en estas condiciones en el país.



5.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este complejo hidrológico, resultó ser mayor en los puntos segundo A14.2 (945 individuos) y primero A13.1 (792 individuos), con respecto a los demás puntos; destacándose también el punto último (A17.5) como el más bajo (382 individuos) (Cuadro 22). Los puntos A15.3 y A16.4, mostraron una cantidad de invertebrados similar, con valores de 652 y 630; respectivamente. En relación al número de familias, aunque el último punto presenta la menor cantidad (27), al compararlo con los puntos anteriores (dentro del rango desde 36 a 39), este resultado podría explicarse a la menor cantidad de individuos encontrados en este sitio, con respecto a los demás puntos.

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; es fácilmente notable que el último punto (A17.5), tiene un valor menor (4.15) con respecto a los demás puntos anteriores; situación que se debe a la poca ocurrencia de familias en dicho punto. Tal situación contrasta con la de los puntos A13.1 (Río Talchiga) y A14.2 (Quebrada Las Pilas), los cálculos de valores de este índice, corresponde a 9.58 y 7.58, respectivamente. Los mayores valores del recíproco del Índice original de Simpson; sugieren una mejor distribución equitativa de la diversidad de invertebrados acuáticos; lo cual concuerda con la condición especial de los primeros puntos, cuya ubicación remota y de acceso relativamente difícil y poco transitada por personas visitantes a la zona, posiblemente mantenga el ambiente natural en mejores condiciones en términos ecológicos.

Vale la pena mantener en consideración, que aunque la calidad ambiental del agua de éste complejo hidrológico ha sido calificada por el IBF-SV-2010 como “regular” en todos los puntos de muestreo (Fig. 5); la medición de la concentración de la riqueza biológica de familias de invertebrados recolectada en ellos sugiere algunas diferencias ecológicas especialmente entre los extremos de los puntos superiores con respecto al punto inferior (el cual es un punto de mayor frecuencia de disturbios de origen antropogénico del cauce y de sus márgenes debido a la mayor afluencia turística en el sitio del punto de muestreo).

En resumen, el IBF-SV 2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Sapo y sus tributarios Ríos Talchiga, Huaco y Quebrada las Pilas en 2009; ofrece valores de calidad dentro del rango 5.11 a 5.77; siendo cifras muy similares y dando, por tanto la misma calificación de calidad del agua (“regular”), a los ríos en estudio; además parece responder también con una tendencia a uniformidad de los valores de las diferentes mediciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas en los puntos de muestreo.



Cuadro 22. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Sapo y sus tributarios Talchiga, Quebrada Las Pilas y Huaco. El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo				
	A13.1 (Talchiga)	A14.2 (Quebrada Las Pilas)	A15.3 (Huaco)	A16.4 (Sapo)	A17.5 (Sapo)
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	5,11	5,53	5,56	5,71	5,35
Calidad del agua	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Total de individuos (N)	792	945	652	630	382
Total de familias (S)	36	39	39	37	27
1/Índice de Simpson	9.58	7.58	6.60	5.90	4.15

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 23) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, con base en abundancia relativa resaltan las familias: Gyrinidae y Elmidae ambas del orden Coleoptera, para el primer punto de muestreo (A13.1); Simuliidae (Diptera) y Veliidae (Hemiptera) para el segundo punto de muestreo (A14.2); Baetidae (Ephemeroptera) y Belostomatidae (Hemiptera) para el tercer punto (A15.3); Baetidae (Ephemeroptera) y Veliidae (Hemiptera) para el cuarto punto de muestreo (A16.4), parecido que para el quinto punto de muestreo (A17.5), siendo la familia Baetidae la más importante en términos de abundancia, alcanzando en estos últimos puntos un 30% de la recolecta total de individuos en cada sitio.

Cuadro 23: Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontradas en los diferentes puntos muestreados del Complejo hidrológico: Ríos Sapo y sus tributarios Talchiga, Quebrada Las Pilas y Huaco, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo									
	A13.1(Talchiga)		A14.2 (Las Pilas)		A15.3 (Huaco)		A16.4 (Sapo)		A17.5 (Sapo)	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	76	9,60	63	6,67	52	7,98	71	11,27	15	3,93
EphLepto	37	4,67	82	8,68	10	1,53	10	1,59		
EphLep	43	5,43	36	3,81			36	5,71		
EphBae	23	2,90	79	8,36	182	27,91	213	33,81	144	37,70
TriHydps	48	6,06	39	4,13	21	3,22				
HemNau			12	1,27						
OdoGom	13	1,64								
ColElm	138	17,42	123	13,02	63	9,66	64	10,16	36	9,42
HemGer							12	1,90		
HemVel			142	15,03			105	16,67	113	29,58
PlePer			19	2,01	11	1,69				
MegCor	14	1,77								
DipPsy					16	2,45				
DipSim	66	8,33	249	26,35	40	6,13	17	2,70		
OdoCal	13	1,64	10	1,06						
ColSta	47	5,93								
HemBel					148	22,70				
TriHydpt					18	2,76				
OdoLib	34	4,29	26	2,75						
HemNau	10	1,26								
ColGyr	163	20,58								
HemNot	13	1,64	13	1,38						



Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 24) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado. Esto permite ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Sapo y sus tributarios, en general son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella, según el ICA.

Cuadro 24. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua del Río Sapo y sus tributarios Talchiga, Quebrada Las Pilas y Huaco, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A13.1	730	Cumple con cinco de seis parámetros: pH, OD, Turbidez, DBO5 y Coliformes fecales	86,23 (Buena)	9,58	5,11 (Regular)	Gyrinidae 20,58 (Coleoptera) Elmidae 17,42 (Coleóptera) Chironomidae 9,60 (Diptera)
A14.2	720	Cumple con todos los parámetros	84,63 (Buena)	7,58	5,53 (Regular)	Simuliidae 26,35 (Diptera) Veliidae 15,03 (Hemíptera) Elmidae 13,02 (Coleóptera)
A15.3	660	Cumple con cinco de seis parámetros: pH, Temp. del agua, Turbidez, DBO5 y Coliformes fecales	73,83 (Buena)	6,60	5,56 (Regular)	Baetidae 27,91 (Ephemeroptera) Belostomatidae 22,70 (Hemíptera) Elmidae 9,66 (Coleóptera)
A16.4	650	Cumple con todos los parámetros	72,74 (Buena)	5,90	5,71 (Regular)	Baetidae 33,81 (Ephemeroptera) Veliidae 16,67 (Hemíptera) Chironomidae 11,27 (Diptera)
A17.5	640	Cumple con cinco de seis parámetros: Temp. del agua, Turbidez, DO, DBO5 y Colif. Fecales	77,24 (Buena)	4,15	5,35 (Regular)	Baetidae 37,70 (Ephemeroptera) Veliidae 29,58 (Hemíptera) Elmidae 9,42 (Coleóptera)

Congruentemente los indicadores utilizados en este estudio catalogan estos ríos (Río Sapo y tributarios), como de los mejores entre los ríos estudiados en el presente trabajo y que aún no ha sido fuertemente impactado por lo que es necesario mantener un programa de monitoreo oportuno y que se implementen las acciones necesarias para mantener la buena calidad del agua en este sistema fluvial.



Fig. 5. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Sapo (A16.4 y A17.5) y sus afluentes Talchiga, Quebrada las Pilas y Huaco (A13.1, A14.2 y A15.3), 2009.



6. Río Sucio y su tributario Río Talnique: Puntos A18.1, A19.2 y A 20.3 (Fig.6)

6.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Al analizar los resultados desde la óptica de los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 25), el Oxígeno Disuelto (OD) y el porcentaje de saturación presenta pequeñas variaciones en el recorrido desde el punto más alto al bajo de una forma descendente, de manera que en el punto A19.2 se encuentra en el rango mínimo requerido para la supervivencia de muchos organismos vivos (4–5 según algunos autores) y el punto A20.3 está por debajo de dicho valor mínimo. Esto es indicativo de que el río sufre descargas grandes de contaminantes durante su recorrido y que no posee aireación importante en ningún punto del recorrido entre los puntos muestreados. Esto se confirma con la DBO₅, ya que a medida que el río sigue su curso, esta va aumentando, indicando que la cantidad de material orgánico vertido se ve incrementada y además, la demanda de oxígeno para su descomposición.

Los resultados de los niveles de nitratos en los tres puntos, sobrepasan el límite máximo recomendado (5 mg/L), observándose que en el punto A18.1 se tiene el valor más elevado y esto se debe principalmente a que en los alrededores de este punto se encuentran muchos cultivos limpios y cultivo de café. Los nitratos en los puntos A19.2 y A19.3 se ven influenciados principalmente por las descargas de aguas residuales y servidas que sufre el río; por esto mismo los fosfatos sufren un incremento en el punto A19.2 y A19.3. La turbidez se incrementa notoriamente en el punto A19.2 principalmente por las descargas de aguas residuales y servidas que sufre el río en este punto.

El análisis microbiológico demuestra que el primer punto, las poblaciones de Coliformes fecales son inferiores con relación a los otros dos puntos, y en el punto dos se encontraron niveles preocupantes; lo cual posiblemente se debe a que el cauce del río está rodeado por varios asentamientos humanos en este sitio.

Cuadro 25. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Sucio y su tributario Río Talnique y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac (ICA)
A18.1	Talnique	596	24.00	23.00	8.20	5.19	66.80	130.80	3.00	0.50	24.70	2.73	800.00	58.87	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	C*		
A19.2	Talnique	467	30.00	28.00	7.70	4.44	62.80	174.50	330.00	1.60	14.00	3.24	160000.00	31.72	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
A20.3	Sucio	429	24.00	26.00	7.90	3.55	46.10	434.00	48.00	1.90	11.30	4.14	2200.00	43.18	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40



De los parámetros evaluados, los valores obtenidos para pH no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras que los niveles aceptables medidos con respecto al Oxígeno Disuelto, Turbidez y Coliformes fecales se cumplen únicamente en el punto alto (A18.1), no así en los puntos restantes. Estos resultados dan la asignación de calificación según el ICA de “regular” para el punto A18.1 y “mala” para el punto intermedio y bajo (A19.2 y A20.3).

6.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este complejo hidrológico, resultó ser mayor en el punto tercero A20.3 (1,614 individuos), aunque también en los otros dos puntos se encontraron más de 1,000 individuos en cada uno (Cuadro 26). Por otro lado, en relación al número de familias, el último punto presenta la menor cantidad (26), al compararlo con los puntos anteriores, donde el punto medio obtiene la mayor riqueza, con 40 familias encontradas. Tales cifras pueden ser relacionadas con la naturaleza de las aguas que se conducen por este complejo hidrológico; ya que aunque en todos los puntos muestreados, la calidad de ella es a lo sumo “regular” con tendencia a “pobre”, especialmente en los puntos más bajos (A19.2 y A20.3) tal como la califica el IBF-SV-2010. Los aportes de contaminantes de origen de asentamientos humanos, actividades agropecuarias y aguas servidas de instalaciones industriales, claramente son más importantes en los dos puntos más bajos en comparación con el primero, que está ubicado a mayor altitud y dentro de una área casi totalmente influida por áreas cafetaleras, con algunos parches dedicados a cultivos de granos básicos, en terrenos de ladera. Pese a ello, la tendencia a mayor riqueza de familias se dio en el segundo punto donde el río entra al Distrito de Riego de Zapotitán; pero al atravesar el mismo y salir de él, por el tercer punto (A20.3), la riqueza de familias cae, probablemente vinculada a la calidad del agua que es afectada por diversos aportes de contaminantes orgánicos y químicos industriales que el curso de agua ha recibido en el tramo anterior.

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso, se determinó que el tercer punto obtuvo el valor más bajo en relación al primero y segundo, aunque no son muy grandes las diferencias, pero confirman la condición ambiental peor para el tercer punto, en términos de menor equitatividad en la distribución de la riqueza de familias.



Cuadro 26. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Sucio y su tributario Río Talnique, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A18.1	A19.2	A20.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	6,41	6,52	7.03
Calidad del agua	Regular Pobre	Pobre	Pobre
Total de individuos (N)	1245	1478	1614
Total de familias (S)	30	40	26
1/Índice de Simpson	5.43	5.40	3.86

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 27) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, con base en abundancia relativa (dentro de un rango desde 25% hasta 32%), resaltan para los dos primeros puntos (A18.1 y A19.2), las familias Leptohephyidae (Ephemeroptera) y Chironomidae (Diptera); siendo esta última familia mencionada también predominante en el tercer punto (A20.3) con cerca del 45% de la frecuencia relativa. En segundo lugar de importancia por su frecuencia relativa (dentro de un rango desde 13% hasta 17%) de la recolecta total de cada punto, destacan las familias Staphylinidae (Coleoptera), Leptohephyidae (Ephemeroptera) y Simuliidae (Diptera).

Cuadro 27. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de familias de invertebrados encontradas en diferentes puntos muestreados del Río Sucio y su tributario Talnique; El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A18.1 (Talnique)		A19.2 (Talnique)		A20.3 (Sucio)	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	318	25,54	460	31,12	721	44,67
EphLepto	32	2,57				
EphLep	345	27,71	387	26,18	268	16,60
EphBae	155	12,45	34	2,30	153	9,48
TriHydps	29	2,33				
OdoGom	11	0,88	11	0,74		
ColElm	49	3,94	48	3,25		
HemVel	25	2,01	73	4,94		
OdoCoe					18	1,12
MegCor	13	1,04				
DipSim	188	15,10	50	3,38		
OdoCal			12	0,81		
ColSta			48	3,25	225	13,94
HemBel	13	1,04	12	0,81		
GasThi			13	0,88		
Hir					77	4,77
OdoLib	11	0,88	27	1,83		
ColDyt			13	0,88		
ColHydph			10	0,68		
DipStr			23	1,56		
TriHel			26	1,76		
ColLimn					41	2,54
Oli					33	2,04
Gas					32	1,98



Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 28) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado. Esto permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Sucio y su tributario Talnique, en general poseen ciertos niveles de contaminación cuya congruencia con los resultados es notoria para los diferentes índices empleados.

Cuadro 28. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios en el Río Sucio y su tributario Talnique, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A18.1	596	Cumple con todos los parámetros	58,87 (Regular)	5.43	6,41 (Regular-Pobre)	Leptohephyidae 27,71 (Ephemeroptera) Chironomidae 25,54 (Diptera) Simuliidae 15,10 (Diptera)
A19.2	467	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y DBO5	31,72 (Mala)	5.40	6,52 (Pobre)	Chironomidae 31,12 (Diptera) Leptohephyidae 26,18 (Ephemeroptera) Veliidae 4,94 (Hemiptera)
A20.3	429	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y DBO5	43,18 (Mala)	3.86	7,03 (Pobre)	Chironomidae 44,67 (Diptera) Leptohephyidae 16,60 (Ephemeroptera) Staphylinidae 13,94 (Coleoptera)

En conclusión, las aguas del complejo hidrológico de Ríos Talnique y Sucio se encontraron habitadas por poblaciones importantes de grupos de invertebrados acuáticos, los cuales en conjunto, se pueden considerar como una asociación o gremio de indicadores de calidad de agua valorada ambientalmente como “pobre” a “regular-pobre”. Dado que también el índice físico- químico ICA indicó problemas de contaminación, especialmente con respecto a los niveles de Coliformes fecales, es importante tomar las medidas del caso para reducir los impactos negativos sobre esta cuenca.



Figura 6. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Sucio (A20.3) y su tributario Talnique (A18.1 y A19.2), 2009.



7. Río Suquiapa: Puntos A21.1, A22.2 y A23.3 (Fig.7)

7.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Al analizar los resultados desde la óptica de los resultados microbiológicos se observa que los primeros dos puntos tiene una alta incidencia de Coliformes fecales, las cuales tienden a disminuir relativamente en el punto tercero aguas abajo, esto posiblemente esté influenciado por los tributarios que permiten diluir un poco los niveles de contaminación, además de oxigenar un poco a medida se avanza aguas abajo en la cuenca.

Los resultados fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 29) muestran que el Oxígeno Disuelto y el porcentaje de saturación prácticamente no varían en los puntos A22.2 y A23.3, aunque el valor reflejado está por debajo del valor mínimo requerido (entre 4-5 mg/L) para la mayoría de organismos acuáticos. Mientras que en el punto A21.1 el valor se encuentra en condiciones críticas para los organismos acuáticos, lo que está en concordancia con la DBO₅ y los Coliformes fecales, demuestra que la cantidad de material orgánico descargado especialmente en este punto del río es muy alto, y esto hace que se consuma una gran cantidad de oxígeno en su descomposición y restrinja la cantidad de este importante factor en el agua del río.

En los puntos A22.2 y A23.3, los valores de DBO₅ son bajos, indicando que el río experimenta una reducción en cuanto a descargas orgánicas de contaminantes durante su recorrido. En cuanto a los nitratos, presentan una tendencia ascendente durante el recorrido del agua en el cauce de la micro cuenca, siendo este muy alto de acuerdo a los límites establecidos por algunos autores (máximo 5 mg/L).

Los resultados sustentan cierto proceso de recuperación de la calidad ambiental del agua a partir del punto A21.1 donde recibe el más grande aporte de desechos sólidos y líquidos, ocurriendo cierto proceso de dilución por oxigenación durante su recorrido, así como el hecho de recibir aportes de aguas de otros ríos tributarios.

Cuadro 29. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Suquiapa y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A21.1	Río Suquiapa	565	28.30	25.00	7.70	2.73	36.00	353.00	29.00	2.30	3.60	18.00	160000.00	27.78	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			NC*	NC*		
A22.2	Río Suquiapa	381	28.50	24.00	8.10	4.79	61.40	328.00	4.00	1.90	19.50	2.70	160000.00	35.57	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
A23.3	Río Suquiapa	299	25.70	23.00	8.40	4.97	62.00	288.00	3.00	1.70	21.30	1.45	2300.00	49.77	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40



De los parámetros evaluados, los valores de pH, Oxígeno Disuelto y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos en ninguno de los puntos evaluados; mientras que los resultados de Turbidez y DBO5 no cumplen únicamente en el punto alto (A10.1) y cumpliendo en el resto. Estos resultados resultan en la asignación de calificación según el ICA de calidad “mala” para los tres puntos muestreados, lo cual indica que es un afluente hídrico que sufre fuertes procesos de contaminación.

7.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río resultó ser notablemente menor en el tercer punto muestreado A23.3 (473 individuos), mientras que en los sitios arriba y abajo se recolectaron más de 700 y 1,500 individuos, respectivamente (Cuadro 30). En relación al número de familias fue el primer punto (A21.1) donde se presentó la menor cantidad, de solo 6 familias, la segunda riqueza más baja de todo el estudio. Sin embargo, los puntos anteriores, presentan valores mayores (de 26 y 27 familias) de riqueza. Las relaciones de cifras de recolecta total (n) y total de familias (S), en cada uno de los tres puntos muestreados, tiene implicaciones en la medición de diversidad entendida como el grado de distribución mas o menos equitativa de la riqueza biótica dentro de la recolecta general en tales puntos; tal como es comentado en párrafos mas adelante del presente estudio.

La calidad ambiental del agua de este río ha sido calificada con categorías no deseables desde “regular pobre”, pasando por “pobre” hasta “muy pobre” en orden descendente de los tres puntos de muestreo, por el IBF-SV-2010, coincidiendo tales calificaciones con lo que es factible apreciar “in situ” sobre las condiciones de manejo del río; siendo el primer punto (A21.1), localizado inmediatamente a la salida de la ciudad de Santa Ana, la cual drena todas sus aguas servidas. Posteriormente, el río no recibe aportes suficientemente severos de contaminación, y sí va incrementando su caudal con otros ríos tributarios con poca contaminación en relación a la condición en el primer sitio de modo que ocurre una ligera mejora en la calidad del agua en términos ambientales, aunque manteniéndose el agua del río siempre en condición deteriorada.

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; se calculados valores muy bajos en todos los puntos de muestreo, especialmente en el primero (A21.1), con un valor de 1.06, a partir del cual los valores van ascendiendo un poco llegando a ser mayor en el último punto que es el mas lejano aguas abajo en el río (A23.3), en donde se alcanzó un valor de 6.12. Con tales cifras vale la pena hacer la reflexión de que el valor mayor de 6.12 implica una condición un poco mejor que en los demás puntos anteriores, por ejemplo en el segundo, en donde a pesar de que hay mayor cantidad de familias, también es obvio que la distribución de la abundancia relativa de familias es mas inequitativa, ya que solo Chironomidae representa casi la mitad de la recolecta (frecuencia relativa de 49.84%); mientras que esa misma familia solo representa una tercera parte de la recolecta general (29.81%) del tercer punto. No cabe duda que la evolución de las cifras ya mencionadas,



muestra la capacidad de autodepuración del río, según las condiciones peculiares de su cauce y la naturaleza de sus tributarios.

En resumen, el IBF-SV 2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Suquiapa (Fig. 7) en 2009 presenta valores que tienden a coincidir lógicamente o directamente proporcional como hipotéticamente se espera, con las mediciones de la presencia de materia orgánica en forma de Coliformes fecales, la DBO5, el nivel de Oxígeno disuelto y su Porcentaje de saturación (OD y SOD, respectivamente), el total de sólidos solubles y el nivel de concentración de fosfatos, además de la turbidez. Así la calificación que hace el IBF-SV-2010 de la calidad del agua, fue bastante congruente con las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas de la misma.

Cuadro 30. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Suquiapa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Sitios de muestreo		
	A21.1	A22.2	A23.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	8	7	6,48
Calidad del agua	Muy pobre	Pobre	Regular pobre
Total de individuos (N)	774	1593	473
Total de familias (S)	6	27	26
1/Índice de Simpson	1.06	3.63	6.12

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 31) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio y con base en abundancia relativa resaltan para todos los puntos de muestreo, la familia Chironomidae (Diptera). Esta familia, considerada como muy tolerante ante la contaminación por materia orgánica y los bajos niveles de oxígeno (al igual que los oligoquetos), cobra especial importancia en el sitio aguas arriba, donde ocupa casi un 97% de la fauna encontrada, lo cual confirma la mala condición en la que se encuentran las aguas del río en este sitio. En los otros dos puntos, se encuentran en segundo lugar de importancia por su frecuencia relativa (dentro de un rango desde 10% hasta 12% de la recolecta total de cada punto) las siguientes familias: Hydropsychidae (Trichoptera), Gomphidae (Odonata) y Leptophlebiidae (Ephemeroptera).



Cuadro 31. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de invertebrados encontradas en diferentes puntos muestreados del Río Suquiapa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A21.1		A22.2		A23.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	750	96,90	794	49,84	141	29,81
EphLepto			54	3,39	54	11,42
EphLep			76	4,77	19	4,02
EphBae			23	1,44	20	4,23
TriHydps			162	10,17	15	3,17
OdoGom			92	5,78	56	11,84
ColElm			91	5,71	13	2,75
OdoCal			103	6,47	15	3,17
OdoLib			23	1,44	10	2,11
Oli	14	1,81	41	2,57		
Gas			45	2,82	97	20,51
Bvv			13	0,82		

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 32) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; lo que permite ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Suquiapa, en general poseen ciertos niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 32. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios del Río Suquiapa, 2009

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A21.1	565	Cumple con uno de seis parámetros: Temp. del agua	27,78 (Mala)	1,06	8 (Muy pobre)	Chironomidae 96,90 (Diptera) Oligochaeta 1,81
A22.2	381	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua Turb. y DBO5	35,57 (Mala)	3,63	7 (Pobre)	Chironomidae 49,84 (Diptera) Hydropsychidae 10,17 (Trichoptera) Calopterygidae 6,47 (Odonata)
A23.3	299	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, Turb. y DBO5	49,77 (Mala)	6,12	6,48 (Regular - pobre)	Chironomidae 29,81 (Diptera) Gastropoda 20,51 Gomphidae 11,84 (Odonata)

En conclusión, las aguas del Río Suquiapa se encontraron en muy mala condición, especialmente en el punto alto de la cuenca, ubicado a la salida de la Ciudad de Santa Ana. A pesar de que sus aguas mejoran ligeramente su calidad hacia la parte media y baja de la cuenca, debido a la entrada de varios tributarios y procesos de autopurificación, se considera muy importante tomar las medidas del caso para reducir la carga de contaminantes, en especial la materia fecal.



Figura 7. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Suquiapa, 2009.

8. Río Acelhuate y su tributario Matalapa: Puntos A24.1, A25.2 y A26.3 (Fig.8)

8.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales en sus aguas (Cuadro 33), se puede observar que todos los puntos muestran una sobrecarga de estos microorganismos beneficiados por los procesos contaminantes que suelen ser diversos. Los resultados del análisis fisicoquímico del agua muestran que el Oxígeno disuelto presenta valores inferiores a los requeridos para la existencia de muchos organismos acuáticos (4-5 mg/L).

Es evidente el incremento de los valores de Nitratos especialmente en el punto tres, A26.3; condición que posiblemente está determinada, al menos en parte, por las actividades agropecuarias, que son realizadas en las cercanías de este punto, tales como extensas áreas de plantación de caña.

El DBO_5 , presenta un incremento en los valores desde 3.42 mg/L para el punto A24.1, hasta 12.50mg/L, para el punto intermedio A25.2 y finalmente 19.30 mg/L para el punto más bajo de la cuenca (PA26.3), lo cual indica que el río está transportando en su caudal una elevada carga de compuestos orgánicos biodegradables, que hace disminuir de manera directa la cantidad de Oxígeno disuelto en este río. Los valores de turbidez se encuentran en valores altos, principalmente por las descargas de aguas residuales y servidas que sufre este río durante todo su recorrido.

Los resultados muestran elocuentemente lo que está sucediendo en el trayecto estudiado de este río, en donde la contaminación parece ser galopante y acelerada, permanentemente.



Cuadro 33. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Acelhuate y su tributario Matalapa y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Códig. Cuenc	Nomb re del río	Altura (msn m)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasifi cac. (ICA)
A24.1	Matalapa	651	24.00	23.00	8.00	3.91	49.60	197.50	21.00	3.30	6.90	3.42	160000.00	35.60	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
A25.2	Acelhuate	315	25.00	24.00	7.90	3.43	43.70	293.00	200.00	4.80	6.80	12.50	90000.00	24.54	Pesim a
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			NC*	NC*		
A26.3	Acelhuate	255	28.00	26.00	7.70	3.24	41.50	238.00	300.00	3.30	9.60	19.30	160000.00	23.08	Pesim a
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			NC*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, pH, Oxígeno Disuelto, Turbidez y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; el DBO5 cumple únicamente en el punto alto (A24.1). Estos resultados le asignan, de acuerdo al ICA, una calificación de calidad de agua “mala” para el punto alto A24.1 y “pésima” para los puntos intermedio (A25.2) y bajo (A26.3). Los resultados muestran que dicho recurso hídrico está sometido a una fuerte presión de contaminación generada especialmente por fuertes descargas tanto de líquidos como de sólidos que provienen del área metropolitana del “Gran San Salvador”.

8.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este complejo hidrológico, resultó ser notablemente menor en el segundo punto muestreado A26.3 (152 individuos), y el valor mayor (1823 individuos) ocurrió en el primer punto A24.1 (Cuadro 34). Sin embargo, en relación al número de familias los tres puntos mostraron bajas cantidades siendo mínima en el tercer punto (A26.3), donde solamente se detectó la presencia de cuatro familias, lo cual representa el valor más bajo de todos los puntos estudiados en la presente investigación; mientras que en los otros dos puntos, el número de familias fue de 10 a 12.



La calidad ambiental del agua de este río ha sido calificada con la categoría de “muy pobre” en los tres puntos de muestreo, por el IBF-SV 2010, coincidiendo tales calificaciones con lo que es factible apreciar “in situ” sobre las condiciones de uso y abuso del río durante su curso, el cual sirve de drenaje a las aguas servidas y diversos tipos de desechos municipales e industriales del área metropolitana de San Salvador, con varios municipios en forma conjunta, sumándose además de aportes procedentes de la comprensión municipal de otras ciudades populosas como por ejemplo Guazapa, Aguilares y Tonacatepeque, situadas al norte de San Salvador.

Al someter todas las familias de individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; fueron calculados valores muy bajos en todos los puntos de muestreo (dentro de un rango de uno a dos) (Cuadro 34), lo cual sugiere condiciones de gran perturbación en todos los puntos, explicada tal situación en el claro predominio numérico de un único grupo taxonómico de insectos acuáticos (Chironomidae mayoritariamente con larvas de coloración roja, las cuales presentan un alto nivel de tolerancia ante la contaminación y los bajos niveles de oxígeno).

En resumen, el IBF-SV 2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Acelhuate y su tributario Río Matalapa (Fig. 8) en 2009, presenta valores bastante similares entre los tres puntos considerados, los cuales tienden a coincidir lógicamente o directamente proporcional como hipotéticamente se espera, con varias de las mediciones fisicoquímicas realizadas con las muestras de agua del río en los puntos de muestreo. La congruencia se advierte fácilmente en el caso de la presencia de materia orgánica en forma de Coliformes fecales, la DBO5, el nivel de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación (OD y SOD, respectivamente), además del nivel de presencia de fosfatos.

Cuadro 34. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos del Río Acelhuate y su tributario Matalapa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A24.1	A25.2	A26.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	7,9	7,74	7,96
Calidad del agua	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre
Total de individuos (n)	1823	152	525
Total de familias (S)	10	12	4
1/Índice de Simpson	1.14	1.90	1.17

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 35) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio y con base en abundancia relativa, resalta sin ninguna duda para todos los puntos de muestreo, la familia Chironomidae (Diptera), siendo el valor máximo para el primer punto y similar al tres, con más del 90% de los individuos recolectados. Los otros grupos presentes, realmente mostraron muy poca importancia numérica relativa, dentro de un rango de frecuencia relativa desde 0% a 9%.



Cuadro 35. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) del muestreo de familias de invertebrados encontradas en puntos del Río Acelhuate y su tributario Matalapa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A24.1		A25.2		A26.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	1708	93,69	109	71,71	485	92,38
Oli			10	6,58	13	2,48
DipTip	36	1,97	13	8,55		
DipPsy	70	3,84			18	3,43

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 36) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado. Esto ratifica que los diferentes puntos estudiados del Río Acelhuate y su tributario Matalapa, en general poseen serios niveles de contaminación cuya congruencia de los resultados es notoria con los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 36. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua del Río Acelhuate y su tributario Matalapa, 2009

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A24.1	651	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua, DBO5	35,60 (Mala)	1,14	7,9 (Muy pobre)	Chironomidae 93,69 (Diptera) Psychodidae 3,84 (Diptera) Tipulidae 1,97 (Diptera)
A25.2	315	Cumple uno de seis parámetros: Temp. del agua	34,54 (Pésima)	1,90	7,74 (Muy pobre)	Chironomidae 71,71 (Diptera) Tipulidae 8,55 (Diptera) Oligochaeta 6,58
A26.3	255	Cumple con uno de seis parámetros: Temperatura del agua	23,08 (Pésima)	1,17	7,96 (Muy pobre)	Chironomidae 92,38 (Diptera) Psychodidae 3,43 (Diptera) Oligochaeta 2,48

En conclusión, las aguas de los Río Matalapa y Acelhuate se encontraron muy pobladas por un importante grupo de insectos acuáticos muy relevantes desde el punto de vista de su frecuencia relativa dentro de la comunidad biótica inventariada y contabilizada para los tres puntos del río, como es Chironomidae, principalmente especies con larvas rojas, grupo de insectos acuáticos típicamente asociados a aguas con poco contenido de oxígeno y gran cantidad de contaminación orgánica. La problemática de los niveles de contaminación de estos ríos es evidente y es urgente tomar las medidas correctivas del caso.



Figura 8. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Acelhuate (A25.2 y A26.3) y su tributario Matalapa (A24.1), 2009.

9. Río Titihuapa: Puntos A27.1, A28.2 y A29.3 (Fig.9)

9.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y micro-biológico (ICA)

Los resultados del análisis fisicoquímico muestran que el Oxígeno disuelto y el Porcentaje de Saturación de Oxígeno, reflejan un pequeño aumento entre los puntos de muestreo, cuyos valores están comprendidos dentro de límites adecuados (4 -5 mg/L), para el desarrollo de la vida acuática (Cuadro 37). En cuanto a los Nitratos, se incrementa su concentración de 3.6 en el punto A27.1 a 5.7 en el punto A29.3, el cual sobrepasa ligeramente los límites establecidos por algunos autores (máximo 5 mg/L). Tales contaminantes provienen principalmente de las diversas actividades agrícolas que se realizan en esta región.

El valor de DBO₅ en el punto A27.1 es de 78 mg/L, siendo un indicador de que este río se ve afectado con elevadas cantidades de materia orgánica.

Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede observar que todos los puntos muestran una sobrecarga de estos microorganismos, presentando altas concentraciones en el punto más alto y disminuyendo relativamente hacia los puntos más bajos.

Cuadro 37. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Titihuapa y su relación Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A27.1	Titihuapa	192	30.00	26.00	7.10	4.37	57.30	120.10	31.00	0.50	3.60	78.00	17000.00	34.50	Mala
Limite Decreto. 40				C*	C*	NC*			NC*			NC*	NC*		
A28.2	Titihuapa	60	26.00	27.00	7.80	4.59	58.60	91.20	21.00	0.60	5.90	4.20	800.00	58.29	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	C*		
A29.3	Titihuapa	54	21.00	25.00	7.70	4.74	60.70	87.60	20.00	0.50	5.70	3.51	400.00	60.60	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	C*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40



De los parámetros evaluados, Oxígeno Disuelto y Turbidez, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras los criterios DBO5 y Coliformes fecales cumplen la normativa oficial del Decreto 40, solamente en los puntos intermedio (A28.2) y final (A29.3). Estos resultados permiten asignar calificación según el ICA de “mala” para el punto alto A27.1 y “regular” para los puntos intermedio (A28.2) y bajo (A29.3).

9.2. Interpretación de la información biológica (IBFI-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n) en este río, resultó ser mayor en el primer punto muestreado A27.1 (168 individuos), y el valor menor (24 individuos) ocurrió en el tercer punto A29.3 (Cuadro 38), el cual presenta la abundancia más baja de todo el estudio. Por otro lado, en relación al número de familias los tres puntos mostraron cantidades similares dentro de un estrecho rango desde 10 a 14, ocurriendo la máxima de 14, en el primer punto.

La calidad ambiental del agua de este río ha sido calificada por el IBF-SV 2010, con las categorías de “regular-pobre”, para el primer punto (A27.1) y “pobre”, para los siguientes puntos, aguas abajo. Con tales calificaciones se detecta la tendencia de que este río no logra autodepurar la calidad de sus aguas en el trascurso de su recorrido, al menos desde el primer punto hasta el tercero de los sitios muestreados.

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; fueron calculados valores desde 3.33 (segundo punto), hasta 7.26 (tercer punto). Considerando solo el nivel de estas cifras, queda claro que el segundo punto tiene una distribución más inequitativa de la riqueza de familias, con respecto a los otros dos puntos. En realidad la condición del grado de equitatividad o inequitatividad de familias dentro de la recolecta general de cada punto del río, es mas o menos similar en los puntos extremos: primero y tercero del río; solamente el segundo es claramente mas inequitativo, lo que sugiere mayor perturbación. Sin embargo, en el caso de este río, debe considerarse que estuvo expuesto al impacto catastrófico del paso de la tormenta tropical IDA, en la primera semana de Noviembre de 2009. Tal evento natural muy probablemente afectó muchas condiciones usuales del cauce de este río, lo cual también explicaría la extraordinaria baja abundancia de invertebrados acuáticos encontrada en el sitio tres.

En resumen, el IBF-SV 2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Titihuapa en 2009 (Fig. 9), presenta valores bastante similares, calificando al agua del río con categorías con limitaciones desde “regular” hasta “pobre”; entre los tres puntos de muestreo, lo cual coincide con los resultados físico-químicos y la perturbación ocurrida por la tormenta IDA.



Cuadro 38. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Titihuapa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A27.1	A28.2	A29.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	6	7	5,29
Calidad del agua	Regular-pobre	Pobre	Regular
Total de individuos (N)	168	70	24
Total de familias (S)	14	11	10
1/Índice de Simpson	6.95	3.33	7.26

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 39) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, y con base en abundancia relativa, resalta en primer lugar la familia Gomphidae (Odonata), especialmente en el segundo punto A28.2, en donde la frecuencia relativa (48,57%) de este grupo de insectos alcanza casi la mitad de la recolecta general del punto. En un segundo lugar de importancia numérica, siempre con base en la frecuencia relativa, sobresalen dentro de un rango desde 20% hasta 29%, los grupos siguientes familias Hydropsychidae (Trichoptera) y Elmidae (Coleoptera) en el tercer punto de muestreo; Chironomidae (Diptera) en el segundo punto de muestreo y Leptophlebiidae (Ephemeroptera) en el primer punto de muestreo. Todavía es posible advertir un tercer grupo de insectos, importantes por su frecuencia relativa de ocurrencia dentro de la recolecta general de uno u otro punto y dentro del rango desde 14% hasta 18%, como es el conjunto de las siguientes familias: Leptophlebiidae (Ephemeroptera) para el tercer punto de muestreo, Leptohyphidae y Baetidae (Ephemeroptera) para el primer punto de muestreo, así como Chironomidae (Diptera) para el primer punto de muestreo.

Cuadro 39. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontradas en los diferentes puntos muestreados del Río Titihuapa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómicos	Puntos de muestreo					
	A27.1		A28.2		A29.3	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
DipChi	30	17,86	17	24,29		
EphLepto	39	23,21			4	16,67
EphLep	25	14,88				
EphBae	24	14,29				
TriHydps	21	12,50			7	29,17
OdoGom			34	48,57		
ColElm					5	20,83

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 40) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Titihuapa, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados, con niveles de entre “regular” y “pobre”.



Cuadro 40. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres puntos del Río Titihuapa, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A27.1	192	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y pH	34,50 (Mala)	6,95	6 (Regular pobre)	Leptophlebiidae 23,21 (Ephemeroptera) Chironomidae 17,86 (Diptera) Leptoxyphidae 14,88 (Ephemeroptera)
A28.2	60	Cumple con tres de seis parámetros: Temperatura del agua, DBO5 y Coliformes totales	58,29 (Regular)	3,33	7 (Pobre)	Gomphidae 48,57 (Odonata) Chironomidae 24,29 (Diptera)
A29.3	54	Cumple con tres de seis parámetros: Temperatura del agua, DBO5 y Coliformes totales	60,60 (Regular)	7,26	5,29 (Regular)	Hydropsychidae 29,17 (Trichoptera) Elmidae 20,83 (Coleóptera) Leptophlebiidae 16,67 (Ephemeroptera)

En conclusión, las aguas del Río Titihuapa se encontraron en condición de calidad regular a mala, aunque hay que considerar la perturbación reciente ocurrida por causa de la tormenta tropical IDA. Sería recomendable realizar un monitoreo periódico en esta cuenca para poder documentar la posible recuperación del río y sus afluentes después del disturbio y tener una noción más clara sobre sus niveles de contaminación causada por factores antropogénicos.



Figura 9. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Titihuapa, 2009.

10. Río Acahuapa: Puntos A30.1 A31.2 A32.3 (Fig.10)

10.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Los resultados del análisis fisicoquímico (Cuadro 41) muestran que los Fosfatos, OD, DBO₅ y Sólidos Totales Disueltos no sufren cambios significativos entre los tres puntos muestreados, lo que indica que desde el punto de vista de estos parámetros la contaminación se mantiene bastante constante; aunque el valor de OD se encuentra cercano al valor mínimo requerido para el desarrollo de la vida acuática (de 4 -5 mg/L).

Por otro lado, los Nitratos se presentan en niveles altos de acuerdo a los límites establecidos por algunos autores (máximo 5 mg/L) y sus valores son mayores en el segundo y tercer



punto de muestreo en relación al primero; considerándose que provienen principalmente de las actividades agrícolas y humanas, características que posee este río, ya que hay cultivos y asentamientos humanos por las riberas de los sitios muestreados. Los valores de pH se encuentran entre el rango desde 7.0 hasta 8.5, en todos los puntos muestreados; observándose que hay un incremento a medida que el río sigue su cauce. Este valor regularmente se ve incrementado por el uso de detergentes y jabones que son descargados directamente a las aguas del río.

La Turbidez en el punto A30.1 posee un valor muy elevado, el cual disminuye notoriamente en los otros dos puntos ubicados aguas abajo; esto se debe posiblemente al hecho de que en la parte alta del río existe un fuerte impacto por la acción agrícola (Ejemplo áreas extensa de cultivos de caña, granos básicos y hortalizas), incorporando mucho material disuelto en el agua del cauce. Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede observar que todos los puntos muestran una sobrecarga de estos microorganismos, presentando su pico máximo a la altura del punto A31.2, lo que se debe a que en este punto el río recibe aguas servidas provenientes de la ciudad de San Vicente, disminuyendo en el punto A32.3 con valores de 22,000.00 NMP /100mL, ya que este punto está ubicado en el Cantón La Joya, en un Área Natural Protegida, muy a pesar que las cantidades de Coliformes siguen siendo elevadas.

Cuadro 41. Análisis físico-químico y microbiológico de aguas del Río Acahuapa y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Aguas superficiales, Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
A30.1	Acahuapa	530	23.00	30.00	7.70	5.04	66.10	216.00	475.00	1.10	6.70	2.94	22000.00	37.76	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		
A31.2	Acahuapa	274	26.00	28.00	8.10	5.24	68.60	251.00	11.00	1.70	9.50	1.68	160000.00	40.76	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		
A32.3	Acahuapa	108	26.00	27.00	8.50	5.40	70.40	193.70	12.00	1.30	9.60	1.23	22000.00	48.61	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

Los parámetros evaluados, pH, Turbidez y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras los criterios Oxígeno Disuelto y DBO5 cumplen con límites permitidos en la normativa del Decreto 40 de la Ley del medio Ambiente de El Salvador; en todos los puntos muestreados. Estos resultados, según el ICA, califican las aguas del Río Acahuapa de “mala” calidad para todos



los puntos que se analizaron. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico puede solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y está experimentando claros problemas de contaminación.

10.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n) en este río, resultó ser notoriamente mayor en el primer punto muestreado A30.1 (3719 individuos) con respecto a los puntos segundo A31.2 y tercero A32.3 (con 612 y 510 individuos, respectivamente) (Cuadro 42).

La calidad ambiental del agua de este río ha sido calificada por el IBF-SV 2010, con las categorías de “regular pobre”, para el primer punto (A30.1); “pobre”, para el segundo punto de muestreo (A31.2); y “regular” para el tercer punto de muestreo (A32.3) (Cuadro 42). Tal secuencia desde el punto más alto hasta el punto más bajo, significa que la calidad del agua del río, si bien puede tener alguna oportunidad de mejorarse o autodepurarse a medida el agua avanza en su cauce; las condiciones propias del río han permitido solamente un cambio muy pequeño y la calidad no superó la calificación de “regular”.

Al someter todas las familias e individuos al cálculo del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso; fueron calculados valores bastante bajos desde 2.13 (tercer punto), hasta 5.45 (primer punto) (Cuadro 42). Considerando el nivel de estas cifras, se advierte fácilmente que desde el punto inicial del muestreo (A30.1) hasta el punto final (A32.3), las abundancias relativas de las familias, no siempre estuvieron equitativamente distribuidas; sino bastante concentrada (aunque las condiciones ecológicas parecen ser un poco mejores en el primer punto donde se detecta la mayor cantidad de familias y el mayor valor del índice ya mencionado); lo cual refleja ambientes disturbados, en donde las condiciones del entorno favorecen el predominio numérico de pocos grupos taxonómicos, que son los que ya se han citado como los que mostraron claramente frecuencias relativas sobresalientes dentro de la recolecta total de cada grupo.

En resumen, el IBF-SV para el caso de los puntos muestreados del Río Acahuapa en 2009 (Fig. 10), presenta valores que no siempre muestran una clara tendencia proporcional con las tendencias de cambio en diferentes mediciones fisicoquímicas en los tres puntos de muestreo. El punto de muestreo de mejor calidad relativa del agua (Punto A32.3) presenta efectivamente los mayores valores de OD y SOD; así como los menores valores de TDS y DBO5, como era de esperarse teóricamente.



Cuadro 42. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Acahuapa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	A30.1	A31.2	A32.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV 2010)	6,05	7,02	5,48
Calidad del agua	Regular Pobre	Pobre	Regular
Total de individuos (N)	3719	612	510
Total de familias (S)	42	14	21
1/Índice de Simpson	5.45	2.49	2.13

Considerando los grupos taxonómicos (Cuadro 43) que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por sitio, y con base en abundancia relativa, resaltan en primer lugar las familias Leptophlebiidae (Ephemeroptera), para el tercer punto A32.3 (con aproximadamente 67% de frecuencia relativa), Chironomidae (Diptera) para el segundo punto A31.2 (con aprox. 60% de frecuencia relativa) y Baetidae (Ephemeroptera) (con aproximadamente 32 % de frecuencia relativa), para el primer punto A30.1 (con aproximadamente 32% de frecuencia relativa). En segundo lugar de importancia numérica, siempre con base en la frecuencia relativa, sobresalen dentro de un rango desde 21% hasta 20%, las siguientes familias: Chironomidae y Simuliidae (ambas del Orden Diptera) y Leptophlebiidae (Ephemeroptera), en el primer punto de muestreo; y Leptophlebiidae (Ephemeroptera), en el segundo punto de muestreo.

Cuadro 43. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontradas en los diferentes puntos muestreados del Río Acahuapa, El Salvador 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	A30.1		A31.2		A32.3	
	n	%	n	%	n	%
DipChi	538	14,47	366	59,80	30	5,88
EphLepto	720	19,36	99	16,18	342	67,06
EphLep	62	1,67	52	8,50	40	7,84
EphBae	1205	32,40	18	2,94	45	8,82
TriHydps	251	6,75				
OdoGom	69	1,86			22	4,31
ColElm	94	2,53				
HemVel	25	0,67				
OdoCoe	60	1,61				
MegCor	13	0,35				
DipSim	431	11,59	61	9,97		
OdoCal	29	0,78				
OdoLib	75	2,02				
DipPsy	18	0,48				
TriPhil	41	1,10				
ColGyr	21	0,56				



Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 44) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Acahuapa, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 44. Diferentes índices e indicadores de la calidad del agua en tres puntos del Río Acahuapa, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
A30.1	530	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua , OD y DBO5	37,76 (Mala)	5,45	6,05 (Regular pobre)	Baetidae 32,40 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 19,36 (Ephemeroptera) Chironomidae 14,47 (Diptera)
A31.2	274	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua , OD y DBO5	40,76 (Mala)	2,49	7,02 (Pobre)	Chironomidae 59,80 (Diptera) Leptophlebiidae 16,18 (Ephemeroptera) Simuliidae 9,97 (Diptera)
A32.3	108	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua , OD y DBO5	48,61 (Mala)	2,13	5,48 (Regular)	Leptophlebiidae 67,06 (Ephemeroptera) Baetidae 8,82 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 7,84 (Ephemeroptera)

En conclusión, las aguas del Río Acahuapa se encontraron pobladas por varios grupos de insectos acuáticos importantes desde el punto de vista del biomonitoreo de la calidad del agua, resultando en niveles de calidad “regular” a “pobre”. Al igual que en varios otros ríos estudiados, se encontraron altos niveles de coliformes fecales y el río presenta considerables niveles de contaminación desde el punto alto de muestreo. Por tanto, sería importante utilizar la herramienta del monitoreo acuático para vigilar estos niveles de contaminación y lograr mediante las medidas correctivas una mejora en la calidad del agua.



Figura 10. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Acahuapa, 2009.



11. Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula: Puntos A33.1, A34.2 A35.3 (Fig.11)

11.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Los resultados muestran que el pH (Cuadro 45) se eleva un poco en los puntos C34.2 y C35.3, aunque quedan dentro del rango óptimo de pH que mencionan algunos autores para aguas de ríos (rango de 6.5 y 8.5). Este incremento es debido principalmente a las actividades humanas como lavado de ropa, actividad que genera que sean depositados grandes cantidades de aguas jabonosas lo cual contribuye directamente a la elevación del pH del agua de los ríos.

El porcentaje de saturación de Oxígeno y Oxígeno Disuelto tiende a disminuir a medida que el río hace su recorrido, indicando que la cantidad de sustancias contaminantes van en aumento, lo cual se puede relacionar con el aumento de los sólidos totales disueltos, DBO5, y Coliformes Fecales y Fosfatos; por lo que es factible notar la contaminación directa que recibe este río de los asentamientos y actividades humanas de sus alrededores, especialmente en los puntos intermedio y bajo.

La Turbidez prácticamente está ausente en el primer punto de muestreo, y aparece en poca cantidad en los otros dos puntos aguas abajo, con 5 unidades en el punto C34.2, y luego con una disminución de 3 unidades para el punto C35.3. En cuanto a los nitratos, aunque se mantienen sin variaciones grandes en los tres puntos muestreados, el valor reflejado es muy alto de acuerdo a los límites establecidos por algunos autores (máximo 5 mg/L), los que provienen principalmente de actividades agrícolas y humanas, con excepción del punto más alto de la micro-cuenca.

Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede observar que el punto uno no está impactado por este fenómeno a diferencia de los puntos intermedios y bajo de la cuenca. El pico más alto de Coliformes se encontró en el punto A34.2, lo que se debe a que en este punto el río es rodeado por ciertos asentamientos humanos que lo impactan permanentemente.



Cuadro 45. Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas del Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
C33.1	Mashtapula	765	24.30	21.00	7.44	5.36	70.00	56.60	0.00	0.20	6.00	1.02	2.00	83.28	Buena
Limite Decreto No. 40				C*	C*	C*			C*			C*	C*		
C34.2	Cara Sucia	97	31.00	27.00	8.00	4.91	64.40	68.10	5.00	0.70	5.40	1.01	160000.00	43.55	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
C35.3	Cara Sucia	37	31.00	30.00	7.90	4.10	55.80	78.90	3.00	0.70	6.40	3.51	8000.00	51.51	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, el punto uno (C33.1) cumple con los límites establecidos para El Salvador, en todos los criterios. De forma general la subcuenca, cumple en todos los puntos con los criterios de Turbidez y DBO5 y cumple además con los criterios de Coliformes fecales y Oxígeno Disuelto en el punto más alto C33.1. Estos resultados permiten asignar la calificación según el ICA de “buena” para el punto más alto (C33.1), “mala” para el punto intermedio (C34.2) y “regular” en el punto inferior (C35.3). Los resultados muestran que dicho recurso hídrico sufre procesos de degradación en las partes más bajas de la Subcuenca.

11.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser variable entre los tres puntos (Cuadro 46). El punto C33.1 presenta los mayores valores, con 935 individuos y una riqueza de familias de 41, la cual se encuentra entre las más altas de todo el estudio. Por el contrario, el extremo inferior de la cuenca específicamente en el punto C35.3 mostró una abundancia de 338 individuos y una abundancia de familias de 17; presentando el punto intermedio C34.2 una abundancia de 475 individuos y riqueza de familias de 22.

Al analizar los diferentes sitios desde el punto de vista del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice, los resultados muestran para los diferentes puntos, valores de 3.01, 7.31 y 4.42, desde la parte más alta de muestreo hasta la parte más baja respectivamente.



Con respecto al Índice Biológico por Familias (IBF-SV-2010) se encontraron valores de 4.48, 5.76 y 6.54 para los puntos desde la parte más alta de la cuenca hacia abajo respectivamente; esto resulta en la asignación de las categorías de “bueno”, “regular-pobre” y “pobre” para los puntos C33.1, C34.2 y C35.3, respectivamente (Cuadro 47). Como puede observarse en los índices planteados anteriormente, el punto ubicado en la parte alta de la cuenca presenta una categoría destacada debido en buena parte a que dicho punto se encuentra ubicado en el área natural protegida del Parque Nacional El Imposible del Departamento de Ahuachapán; y así el sitio se encuentra protegido por una densa vegetación arbórea y bosques nativos. En el extremo opuesto de la cuenca o sea en la parte inferior presenta la calidad de agua nominada como “pobre” ya que su ubicación está fuertemente impactada por los pobladores del Municipio de Cara Sucia, generando vertidos de diferentes tipos tanto líquidos como sólidos; a pesar de lo cual los pobladores locales utilizan dichas aguas con fines de pesca artesanal, lavado de ropa y turismo local.

En resumen, el IBF-SV-2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula en 2009 (Fig. 11), presenta valores que en buena medida, tienden a reflejar el significado de varias de las mediciones fisicoquímicas que fueron hechas al agua de cada punto de muestreo. Fácilmente puede apreciarse que hay concordancia con la mayoría de las mediciones. Así la calificación que hace el IBF-SV-2010 de la calidad del agua en este río, fue bastante congruente con las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas de la misma.

Cuadro 47. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del río Cara Sucia y su tributario Mashtapula, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	C33.1	C34.2	C35.3
Índ. Biót. Fam. (IBF-SV-2010)	4.48	5.76	6.54
Calidad del agua	Bueno	Reg. Pobre	Pobre
Total de individuos (N)	935	475	338
Total de familias (S)	41	22	17
1/Índice de Simpson	3.01	7.31	4.42

Considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa, se detecta que los valores del índice ya mencionado se relacionan con el predominio de pocos familias (Cuadro 47) tales como Chironomidae (Diptera) con 42.90% de frecuencia relativa y Elmidae (Coleoptera) con 11.83% de frecuencia relativa en el punto C35.3. Este punto resulta estar muy impactado por los asentamientos humanos en sus extremos. Diametralmente opuesto se encuentra el punto C33.1 donde existe un predominio bastante significativo de la familia Elmidae (Coleoptera), con 56.26% de frecuencia relativa, mientras que el resto de familias en este punto se mostraron poblaciones bastante bajas. Esta dominancia de la familia Elmidae se puede explicar a que la mayoría de sus especies se encuentran asociadas a materia orgánica



particular, especialmente hojarasca sumergida en descomposición, por lo que son muy abundantes y diversos en ríos y quebradas de áreas boscosas, como lo es el punto uno (C33.1), dentro del área natural Parque Nacional El Imposible. En el caso del segundo punto, las familias que destacan son Baetidae (Ephemeroptera), con el mayor valor de frecuencia relativa de alrededor de 26%, además de Chironomidae (Diptera) y Helicopsychidae (Trichoptera) son las que alcanzan las mayores frecuencias relativas (dentro del rango 10 a 11) de la recolecta general del punto.

Cuadro 47. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de familias más sobresalientes de invertebrados en del Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	C33.1		C34.2		C35.3	
	n	%	n	%	n	%
DipChi	16	1.71	52	10.95	145	42.90
EphLepto			70	14.74	23	6.80
EphLep	32	3.42	63	13.26	21	6.21
EphBae	42	4.49	125	26.32	19	5.62
TriHydps	63	6.74	20	4.21		
ColElm	526	56.26	26	5.47	40	11.83
HemVel			19	4.00		
DipSim	48	5.13	12	2.53	33	9.76
TriHel	11	1.18	48	10.11		
Gas					30	8.88
DipTip	13	1.39				
ColPti	52	5.56				
PlePer	32	3.42				
Nem	12	1.28				

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 48) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 48. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua del Río Cara Sucia y su tributario Mashtapula, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
C33.1	765	Cumple con todos los parámetros	83,28 (Buena)	3,01	4,48 (Bueno)	Elmidae 56,26 (Coleóptera) Hydropsychidae 6,74 (Trichoptera) Ptilodactylidae 5.56 (Coleoptera)
C34.2	97	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, pH, Turb. y DBO5	43,55 (Mala)	7,31	5,76 (Regular Pobre)	Baetidae 26,32 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 14,74 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 13,26 (Ephemeroptera)
C35.3	37	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, pH, Turb. y DBO5	51,51 (Regular)	4,42	6,54 (Pobre)	Chironomidae 42,90 (Diptera) Elmidae 11,83 (Coleóptera) Simuliidae 9,76 (Diptera)



En conclusión, las aguas del complejo hidrológico de los Ríos Mashtapula y Cara Sucia se encontraron pobladas por varios grupos de insectos acuáticos importantes desde el punto de vista de biomonitoreo de la calidad del agua, con la presencia de varios grupos sensibles a la contaminación en la parte alta. A través de los índices aplicados, se demuestra un importante deterioro de las aguas en la parte media y baja de la cuenca con respecto al sitio ubicado en la parte alta, dentro del Parque Nacional El Imposible.



Figura 11. Vista general de cada uno de los puntos muestreados, del Río Cara Sucia (C34.2 y C35.3) y su tributario Mashtapula (C33.1), 2009.

12. Río Sensunapán: Puntos D36.1, D37.2, D38.3, D39.4, D40.5, D41.6 (Fig.12)

12.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímicos de sus aguas (Cuadro 49) se puede observar que los resultados de pH están dentro del rango de valores recomendados (6.5–8.5), y prácticamente no presenta variaciones. Sin embargo, el porcentaje de Saturación de Oxígeno y Oxígeno disuelto, se encuentra en el límite mínimo necesario para la existencia de muchos organismos acuáticos (4-5 mg/L); por la contaminación que presenta este río, se puede decir que el sistema tiene una aireación moderada durante su recorrido, especialmente en los puntos muestreados. La Turbidez y los Fosfatos no presentan mayores variantes, ya que se mantienen en valores bajos durante todo el recorrido del río. En general, a medida que los asentamientos humanos son mayores, la cantidad de Coliformes fecales y el DBO_5 aumenta (D39.4, D40.5 y D41.6).

Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede ver que el punto uno aún no está muy afectado como el resto de puntos aunque siempre presenta cantidades no aceptables. Los puntos D40.5 y el último (41.6) son los más afectados por Coliformes posiblemente a efectos antropogénicos generados por habitantes localizados en las riberas del río, así como en su paso a través de la ciudad de Sonsonate donde recibe toda clase de vertidos.



Cuadro 49. Análisis físico-químico y microbiológico de aguas del Río Sensunapan y relación con Normas Técnicas de Calidad de Agua (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
D36.1	Sensuna-pán	1002	27.00	25.00	8.02	4.60	54.70	240.00	2.00	1.30	44.60	3.48	700.00	47.76	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	C*		
D37.2	Sensuna-pán	834	26.00	22.00	7.68	4.68	56.30	205.00	1.00	2.60	21.40	1.92	90000.00	36.51	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
D38.3	Sensuna-pán	463	24.00	21.00	8.19	4.60	56.10	209.00	2.00	2.20	17.00	1.35	8000.00	45.39	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
D39.4	Sensuna-pán	261	22.00	20.00	8.00	5.22	68.10	189.80	6.00	1.50	20.50	9.30	24000.00	43.25	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	C*			NC*			NC*	NC*		
D40.5	Sensuna-pán	186	27.00	25.00	8.10	4.96	64.40	210.00	17.00	1.60	18.60	4.96	160000.00	37.26	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
D41.6	Sensuna-pán	130	30.00	26.00	8.10	4.19	55.80	208.00	11.00	1.70	18.30	4.19	160000.00	35.08	Mala
Limite Decreto. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, pH, Turbidez y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras el criterio DBO5 cumple con la normativa en todos los puntos muestreados. En el caso de Oxígeno Disuelto, solo se cumplen los límites de la normativa (Decreto 40), en el cuarto punto muestreado (D39.4). Estos resultados permiten asignar calificación según el ICA de mala para todos los puntos que se analizaron. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico puede solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y está experimentando evidentes problemas con la contaminación.

12.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser variable ya que cada punto mostró sus propias peculiaridades en cuanto a la cantidad de individuos y el número de familias (Cuadro 50). Así se tiene que el punto D38.3 se registró la



recolecta mayor con 3172 individuos y una riqueza de 23 familias. Un segundo punto importante por una recolecta relativamente grande fue el punto D40.5 con 2399 individuos y una riqueza de 18 familias. Por el contrario, la menor recolecta general de abundancia se registró en el punto D 39.4, con 483 individuos y una abundancia de 20 familias; el resto de puntos mostraron datos intermedios; aunque la mayor cantidad (30) de familias se registró para el primer punto.

Al evaluar los puntos de muestreo del Río Sensunapán desde el punto de vista del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice y considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa, los resultados muestran para los diferentes puntos, valores de 2.74, 3.63, 2.99, 3.85, 1.23 y 1.75 en los diferentes los puntos desde la parte alta hasta la parte más baja de la cuenca del río, respectivamente, destacándose los dos puntos más bajos de la cuenca con los menores valores. Esto coincide con el hecho que en sitios de mayor contaminación se encuentra una mayor dominancia de grupos tolerantes, como por ejemplo las larvas de la familia Chironomidae, lo cual resulta en valores menores del índice.

Con respecto al Índice Biológico por Familias (IBF-SV-2010) se encontraron valores de 6.99, 6.86, 6.32, 6.70, 7.81 y 7.44 para los puntos vistos desde el ubicado en la parte más alta de la cuenca hacia abajo, respectivamente; resultando en las categorías de “pobre” para los puntos D36.1, D37.2 y D39.4; “regular pobre” para el punto D38.3 y “muy pobre” para los puntos D40.5 y D41.6 (Cuadro 50). Como puede observarse en los índices planteados anteriormente, el punto intermedio D38.3 presentó la mejor evaluación ambiental con respecto a los otros cinco de este río; posiblemente debido a la distancia existente con el punto anterior generándose un proceso de recuperación en su trayecto, además de tres kilómetros arriba ocurre la convergencia del afluente más próximo, generando posiblemente cierta dilución.

Los puntos D36.1 y D37.2 clasifican como pobres debidos en parte, posiblemente a que la cuenca circunvecina está revestida por cultivo intensivo de cafetales con su tecnología convencional de empleo de agroquímicos, y también debido en parte a la proximidad de la afluencia de líquidos contaminados provenientes de aguas de desecho de la Ciudad de Juayúa. Por otro lado estos puntos se encuentran ubicados en un ambiente con fuerte belleza escénica, lo cual genera mucho turismo y por tanto contaminación por desechos sólidos, especialmente plásticos en toda la zona. Por otro lado, los puntos ubicados en el extremo inferior de la cuenca: D40.5 y D41.6 clasifican de muy pobres debido a que el primero de dichos puntos es fuertemente impactado por las aguas residuales de las urbanizaciones del Municipio de Sonsonate y a partir de éste es poblado en sus alrededores, generando una permanente presión de desechos contaminantes; lo cual, sin embargo, no impide que dichas aguas sean utilizadas por los pobladores con fines de abrevadero de ganado, riego, pesca y turismo local. No debe omitirse que el último punto en realidad reúne toda la carga de contaminantes ya citados para los puntos anteriores y más altos en la cuenca, además de los efluentes de origen agropecuario que se originan de áreas de cañaverales que rodean este punto.



Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 52) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Sensunapán, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 52. Diferentes índices e indicadores de calidad del agua en varios puntos del Río Sensunapán, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
D36.1	1002	Cumple con cuatro de seis parámetros: Temp. del agua, Turbidez, DBO5 y Colif. fecales	47,46 (mala)	2,74	6,99 (Pobre)	Chironomidae 58,96 (Diptera) Hydroptilidae 8,10 (Trichoptera) Staphylinidae 6,51 (Coleoptera)
D37.2	834	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, Turb. y DBO5	36,51 (mala)	3,63	6,86 (Pobre)	Chironomidae 45,82 (Diptera) Baetidae 22,84 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 8,50 (Ephemeroptera)
D38.3	463	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, Turb. y DBO5	45,39 (mala)	2,99	6,32 (Regular pobre)	Simuliidae 49,18 (Diptera) Baetidae 24,31 (Ephemeroptera) Chironomidae 17,72 (Diptera)
D39.4	261	Cumple con dos de seis parámetros: OD y Temp. del agua	43,25 (mala)	3,85	6,7 (Pobre)	Chironomidae 38,30 (Diptera) Baetidae 29,61 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 15,11 (Ephemeroptera)
D40.5	186	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y DBO5	37,26 (mala)	1,23	7,81 (Muy pobre)	Chironomidae 89,83 (Diptera) Baetidae 6,84 (Ephemeroptera) Leptohyphidae 0,50 (Ephemeroptera)
D41.6	130	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y DBO5	35,08 (mala)	1,75	7,44 (Muy pobre)	Chironomidae 74,68 (Diptera) Leptohyphidae 9,55 (Ephemeroptera) Baetidae 4,85 (Ephemeroptera)

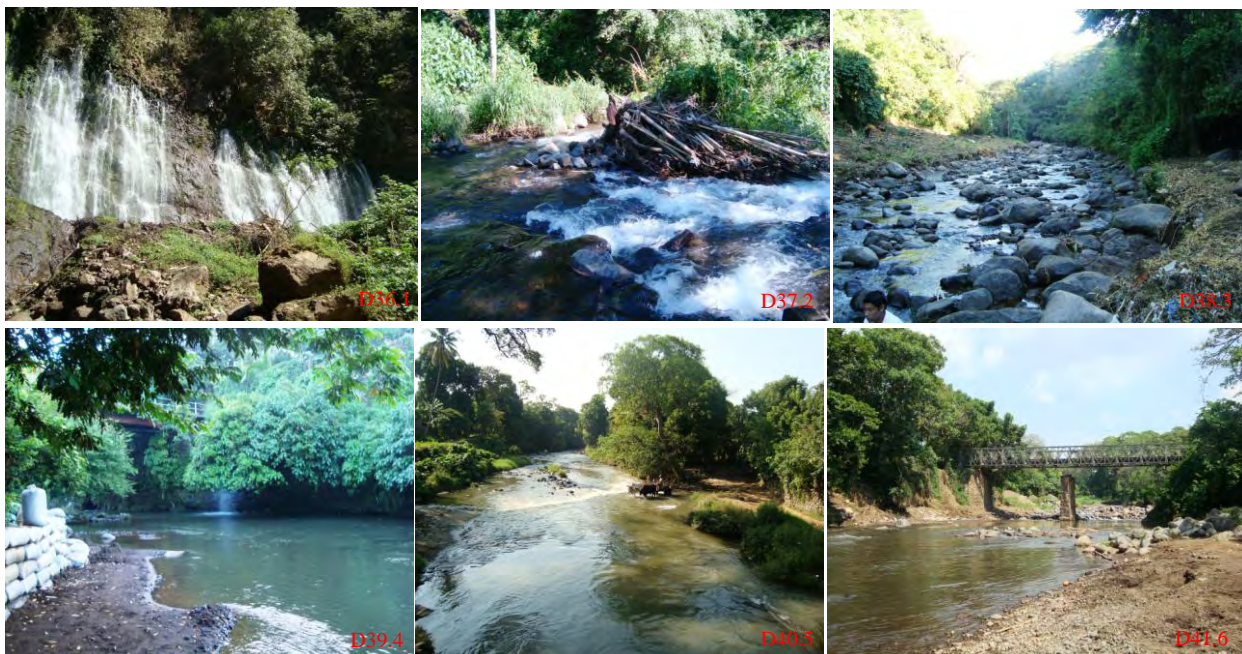


Figura 12. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Sensunapán, 2009.



En conclusión, las aguas del Río Sensunapán se encontraron altamente afectadas por las distintas actividades antropogénicas que se desarrollan en la cuenca y muestran un fuerte deterioro especialmente en la parte baja de la cuenca, donde el índice biológico indica una calidad de agua muy pobre, lo cual coincide con niveles preocupantes de Coliformes fecales. Es importante tomar medidas correctivas para revertir el proceso de deterioro en la cuenca y lograr una mejora en la calidad de agua, sobre todo tomando en cuenta que la misma es utilizada de distintas maneras por los poblados, a pesar de no ser apta para el uso por el ser humano.

13. Río San Antonio: Puntos E42.1, E43.2 y E44.3 (Fig.13)

13.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímico (Cuadro 53) se puede observar que el Oxígeno Disuelto y el porcentaje de saturación en el punto E42.1 se encuentra en valores por debajo de los necesarios para la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos, y esto se relaciona directamente con un alto grado de contaminación, ya que este punto se ve influenciado por el impacto generado por los asentamientos humanos que vierten sus aguas servidas al río y depositan grandes cantidades de basura al cauce del río. En los puntos E43.2 y E44.3 se nota que el río logra airearse un poco aunque los valores se encuentran en el mínimo (entre 4-5 mg/L), según muchos autores, para la existencia de muchos organismos acuáticos.

En cuanto a los fosfatos, estos se encuentran elevados en el punto E42.1 (ya que según algunos autores recomienda un máximo de 10 ppm de Fosfatos) y disminuyen notoriamente en los puntos E43.2 y E44.3. Los Nitratos se encuentran elevados en los tres puntos muestreados, principalmente en el punto E42.1, y se observa que hay una mejora a medida que el río hace su recorrido; sin embargo, todos los valores sobrepasan el límite máximo permitido (5 mg/L de Nitratos).

El valor de DBO_5 y Coliformes fecales se encuentran elevados en el punto E42.1, resultado por la descarga de aguas servidas que son depositadas directamente en el río, indicando severos problemas de contaminación con material orgánico y otras sustancias perjudiciales. En general puede notarse que a medida que el río sigue su cauce, se ve una mejora en la DBO_5 y Coliformes fecales lo que indica que el río presenta procesos de autodepuración. Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede observar que el punto uno presenta la mayor concentración, disminuyendo numéricamente en el punto intermedio y aumentando nuevamente en el punto más bajo. Esta situación es congruente por la alta presión de contaminación, generada por los vertidos generados por los asentamientos humanos.



Cuadro 53. Análisis físico-químico y microbiológico de aguas del Río San Antonio y relación con Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
E42.1	San Antonio	860	19.50	20.00	7.30	2.43	29.90	190.00	33.00	10.60	35.40	59.40	160000.00	14.83	Pésima
Limite Decreto No. 40				C*	C*	NC*			NC*			NC*	NC*		
E43.2	San Antonio	559	25.00	23.00	8.20	3.72	46.50	198.70	5.00	0.90	15.50	6.84	2300.00	47.14	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			NC*	NC*		
E44.3	San Antonio	10	31.00	25.00	8.30	4.05	51.70	204.00	51.00	1.00	14.60	0.50	50000.00	37.56	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, Oxígeno Disuelto y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras el criterio DBO5 cumple con la normativa solamente en el punto más bajo del río (E44.3). Estos resultados asignan la calificación según el ICA, de calidad “pésima” o “mala” para los puntos analizados. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico puede solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y está experimentando importantes problemas con la contaminación; especialmente en el punto más alto, muy próximo a urbanizaciones.

13.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser variable ya que cada punto mostró sus propias peculiaridades en cuanto a la cantidad de individuos y el número de familias (Cuadro 54). Así se tiene que el punto E42.1 presentó una riqueza de familias de 21, similar al punto E44.3, a diferencia del punto E43.2 con una fuerte disminución a 13 familias (Cuadro 54); con respecto al total de individuos capturados se observa un fuerte predominio en el punto E42.1 con 10,093 individuos, siendo esta la segunda abundancia más alta encontrada en todos los sitios estudiados en el país. El segundo punto en incidencia de individuos fue el E44.3 con 1096; a diferencia del punto intermedio E43.2 con una notable reducción a 146 individuos.

Al evaluar los diferentes sitios desde el punto de vista del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice y considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa, los resultados muestran para los diferentes puntos, valores de 1.02, 4.12 y 2.23 para E42.1,



E43.2 y E44.3, respectivamente, en orden de arriba hacia abajo dentro de la cuenca del río. Los valores anteriores reflejan cuanto más bajos son sus cifras, mas predominio de menos grupos taxonómicos; lo que presupone ecosistemas menos estables y viceversa.

Con respecto al Índice Biológico por Familias en El Salvador (IBF-SV 2010), se encontraron valores de 7.99, 7.11 y 6.57 para los puntos E42.1, E43.2 y E44.3 respectivamente, los cuales permiten calificar la calidad ambiental del agua como “muy pobre” para el punto E42.1 y “pobre” para los dos puntos inferiores (Cuadro 54). Lo anterior tiene explicación en parte porque el punto primero aguas arriba es impactado por una fuerte presión de asentamientos humanos quienes depositan sus vertidos en dicho río tanto de desechos sólidos como líquidos, generando una fuerte contaminación y el río presenta malos olores. Aguas abajo el río tiende a diluirse un poco por la oxigenación generada por su desplazamiento aguas abajo, lo cual hace que su situación se vea un tanto mejorada relativamente; quedando en todo caso la calificación general para las aguas de este río como negativamente muy alteradas.

En resumen, el IBF-SV-2010 para el caso de los puntos muestreados del Río San Antonio en 2009 (Fig. 13), presenta valores con tendencias bastante similares entre valores del índice y valores de diferentes mediciones fisicoquímicas; tales como el caso de fosfatos, nitratos, y Coliformes fecales, DBO5 y oxígeno disuelto. Así la calificación que hace el IBF-SV-2010 de la calidad del agua en este río, fue en general bastante congruente con las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas de la misma y concuerda perfectamente con el índice fisicoquímico ICA.

Cuadro 54. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río San Antonio, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	E42.1	E43.2	E44.3
Índ.Biót.Fam. (IBF-SV 2010)	7.99	7.11	6.57
Calidad del agua	Muy pobre	Pobre	Pobre
Total de individuos (N)	10,093	146	1096
Total de familias (S)	21	13	21
1/Índice de Simpson	1.02	4.12	2.23

Con respecto a las familias encontradas para el Río San Antonio, resaltan en primer lugar las familias Chironomidae y Psychodidae (ambas del Orden Diptera), con un rango de frecuencia relativa desde 55% hasta 99%, para el primero y tercer punto de muestreo (E42.1 y E44.3), lo cual se relaciona con los altos niveles de contaminación. En segundo lugar destacan las familia Chironomidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera) y Palaemonidae (del Orden Decapoda, en la clase Crustácea), dentro de un rango de frecuencia relativa desde 25% hasta 39%, para el segundo y tercer punto de muestreo, respectivamente (E43.2 y E 44.3). Finalmente hace mérito mencionar a la familia Culicidae (Diptera), que en el segundo punto de muestreo (E43.2), representó casi un 16% de la recolecta general del punto, lo cual es de



preocuparse debido a su alto potencial de transmisión de enfermedades como el Dengue y la Malaria.

Cuadro 55. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias más sobresalientes de invertebrados encontrados en puntos muestreados del Río San Antonio, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	E42.1		E43.2		E44.3	
	n	%	n	%	n	%
DipChi	9969	98.77	37	25.34	10	0.91
EphBae	11	0.11	57	39.04	12	1.09
DipSim					18	1.64
DipPsy	44	0.44			610	55.66
DipCul	17	0.17	23	15.75		
Coll	23	0.23				
DecaPala					407	37.14

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 56) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río San Antonio, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 56. Diferentes índices e indicadores de calidad del agua del Río San Antonio, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
E42.1	860	Cumple con dos de seis parámetros: Temp del agua y pH	14,83 (Pésima)	1,02	7,99 (Muy pobre)	Chironomidae 98,77 (Diptera) Psychodidae 0,44 (Diptera) Collembola 0,23
E43.2	559	Cumple con dos de seis parámetros: Turbidez y Temp. del agua	47,14 (Mala)	4,12	7,11 (Pobre)	Baetidae 39,04 (Ephemeroptera) Chironomidae 25,34 (Diptera) Culicidae 15,75 (Diptera)
E44.3	10	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y DBO5	37,56 (Mala)	2,23	6,57 (Pobre)	Psychodidae 55,66 (Diptera) Palaemonidae 37,14 (Decapoda) Simuliidae 1,64 (Diptera)

En conclusión, las aguas del complejo hidrológico del Río San Antonio muestran un preocupante nivel de contaminación desde el punto alto en su cuenca, con un fuerte predominio de grupos de indicadores tolerantes a las condiciones adversas, como los altos niveles de materia orgánica (coliformes) y la falta de oxígeno, junto con otros factores contaminantes, como los fosfatos y nitratos. Es importante tomar las medidas del caso para mejorar esta situación y disminuir estos niveles tan altos de contaminación.



Figura 13. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río San Antonio, 2009.

14. Río Comalapa: Puntos E45.1, E46.2, E47.3, E48.4, E49.5 Y E50.6 (Fig.14)

14.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímicos (Cuadro 57), se encontró que el Oxígeno Disuelto (OD) y el porcentaje de saturación presentados en el trayecto del Río Comalapa, demuestran variaciones marcadas en diferentes puntos; presentando valores superiores al mínimo requerido (4-5mg/L) en los puntos E45.1 y E46.2 y notándose que los siguientes puntos están dentro del mínimo requerido. Lo cual se debe a que en estos puntos se da un alto nivel de descarga de sedimentos y contaminantes generados por la población que está en la ribera del río y al incremento de zonas de parcelación o lotificación. Esto va acompañado o relacionado con la Temperatura, porque principalmente en los puntos E48.4 y E49.5, se presenta una temperatura mayor del agua con respecto a los demás puntos; y se sabe que si la temperatura del agua aumenta, el oxígeno disuelto disponible disminuye.

Los valores de pH muestran un comportamiento elevado en los primeros cinco puntos de muestreo, aunque se mantienen dentro de los valores establecidos (6.5 a 8.5), debido principalmente a las descargas de aguas servidas que sufre este río. Con respecto a los Sólidos Totales Disueltos (STD), estos presentan un comportamiento creciente en todo su recorrido y refiriéndose a la Turbidez el único punto que presenta un alto nivel es el primero (E45.1), esto debido posiblemente a la desembocadura de un tributario. Los valores de fosfatos y DBO5 no sufren un cambio significativo en todo el recorrido del cuerpo de agua en estudio, manteniéndose por debajo de los niveles máximos permisibles.

En cuanto a los nitratos; los resultados no sufren variaciones grandes en su contenidos, únicamente sobrepasando en una mínima proporción a lo permisible el punto E45.1 con 5.3 mg/L y el punto (E49.5) con 5.2 mg/L, lo cual puede atribuirse a las diferentes actividades agrícolas y asentamientos humanos dentro de las riberas de este río. Por otro lado, los demás puntos se mantienen dentro de los límites máximos permisibles que establecen algunas investigaciones (máximo 5 mg/L). La situación general del río es muy variable dependiendo del punto analizado, los cuales algunas veces empeoran su situación de



contaminación por efecto de vertidos de desechos sólidos y líquidos que recibe el río durante su trayectoria.

Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas, se puede observar que los puntos primero y segundo aguas arriba así como el último aguas abajo presentan los niveles más bajos en relación al resto de puntos (E47.3, E48.4 y E49.5). Esta situación es consecuente con la presión antropogénica de dichos lugares así como actividades agropecuarias que se presentan en dichos lugares.

Cuadro 57. Análisis físico-químico y microbiológico las aguas del Río Comalapa y relación con Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
E45.1	Comalapa	471	20.00	22.00	8.10	5.77	69.50	102.80	50.00	0.60	5.30	0.50	5000.00	57.45	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		
E46.2	Comalapa	379	28.00	22.00	8.10	5.24	67.40	124.10	5.00	0.70	5.00	0.85	1300.00	56.53	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			C*			C*	NC*		
E47.3	Comalapa	99	32.90	26.00	8.20	4.83	64.00	137.10	3.00	0.60	4.30	1.59	50000.00	46.21	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			C*			C*	NC*		
E48.4	Comalapa	84	35.10	31.00	7.90	3.99	35.10	163.40	8.00	1.00	4.90	0.84	30000.00	40.27	Mala
Limite Decreto No. 40				NC*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
E49.5	Comalapa	23	34.90	32.00	7.70	4.07	56.70	192.20	14.00	1.30	5.20	0.42	30000.00	46.25	Mala
Limite Decreto No. 40				NC*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
E50.6	Comalapa	10	30.00	25.00	6.10	4.95	64.50	208.00	23.00	1.70	4.80	0.93	3000.00	51.54	Regular
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, pH y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras el criterio DBO5 cumple con la normativa en todos los puntos muestreados. Estos resultados asignan una calificación según el ICA de "regular" para los puntos E45.1, E46.2 y E50.6 y "mala" para los puntos intermedios E47.3, E48.4 y E49.5. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico



en los extremos tiene generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y el resto de puntos intermedios E47.3, E48.4 y E49.5 puede solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando problemas con contaminación.

14.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser muy variable en relación a los seis puntos de muestreo que se tomaron en cuenta (Cuadro 58). Así la riqueza de familias fue diferente en cada uno de los sitios de muestreo oscilando desde 27, 26, 21, 36, 34 y 30 para los puntos muestreados en orden descendente de altitud, dentro del cauce. Por otra parte, al evaluar los diferentes sitios desde el punto de vista del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice y considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa, los resultados muestran para los diferentes puntos, valores de 4.81, 2.02, 2.42, 3.43, 4.25 y 5.87, en orden de mayor a menor altitud dentro del cauce del río; valores que sugieren un mayor grado de predominio numérico de algunas familias, para los puntos segundo y tercero, que tienen los valores más bajos; es decir con una distribución mas inequitativa de las poblaciones de las familias dentro de la recolecta general de cada punto de muestreo. Conviene tener en consideración para el conjunto de todos los puntos, que la cantidad de familias estuvo dentro del rango de 21 a 36 y que la recolecta general varió dentro del rango desde 1105 hasta 3982 individuos, registrándose las mayores cantidades en los puntos E 47.3 y E49.5 (Cuadro 58).

Aunque los cambios de dominancia de ciertas familias indican algunas posibles tendencias y cambios en la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos en los diferentes puntos de muestreo, para el caso del río en estudio, no debe perderse de vista que la tormenta tropical IDA, como una catástrofe natural imprevista que ocurrida en noviembre de 2009, antes de los muestreos en este río, sin duda pudo ser responsable en buena parte de alteraciones de las condiciones de los micro-hábitats de cada punto de muestreo, modificando la presencia/ausencia, y los niveles de las densidades de población de las familias de una escala no completamente comprendida; especialmente cuando el ambiente físico fue significativamente modificado dentro y en los alrededores del cauce por el evento natural ya mencionado.

Con respecto al Índice Biológico por Familias (IBF-SV-2010) se encontraron valores que le asignan la categorías de “regular-pobre” a la calidad del agua del río en los puntos E45.1, E49.5 y E50.6; determinándose la calificación de calidad del agua como “pobre” para el resto de los puntos E46.2, E47.3 y E48.4. De hecho y de acuerdo a los resultados aquí descritos, tales calificaciones de la calidad del agua de este río, obedecen en buena parte a los grupos predominantes de invertebrados acuáticos en términos numéricos encontrados en los distintos puntos de muestreo, los cuales representan oportunidades para estudios futuros mas focalizados sobre el tema de biomonitorio.



Cuadro 58. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Comalapa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo					
	E45.1	E46.2	E47.3	E48.4	E49.5	E50.6
Índ.Biót.Fam.(IBF-SV 2010)	6.26	6.97	7.04	7.06	6.41	6.07
Calidad del agua	Reg. Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Reg. pobre	Reg. pobre
Total de individuos (N)	1595	1110	3982	1851	2586	1105
Total de familias (S)	27	26	21	36	34	30
1/Índice de Simpson	7.14	5.00	3.72	6.63	5.91	9.02

Las variaciones de cantidad y proporciones de las poblaciones de invertebrados (Cuadro 59) presentes en cada punto de muestreo son el origen de las variaciones del valor inverso del Índice de Simpson, ya mencionado; y con base en ello vale la pena observar los grupos taxonómicos que se presentan con cierto predominio, tales como la familia Chironomidae (Diptera), que sin duda es predominante en las recolectas de los primeros cuatro puntos de muestreo, con un rango de frecuencia relativa desde 36% hasta 61%. Ya en el quinto y sexto punto de muestreo la frecuencia relativa baja a niveles de 25% y hasta 11%. Un segundo conjunto de familias meritorias de mencionar por su nivel de importancia relativa en distintos punto de muestreo (dentro de un rango desde 20% hasta 29% de frecuencia relativa), lo constituyen: Staphylinidae (Coleoptera), para el sexto punto; Chironomidae (Diptera), para el quinto punto, y Baetidae (Ephemeroptera), para el cuarto, quinto y sexto puntos. Un tercer grupo de familias puede mencionarse con un nivel de importancia numérica un tanto menor (dentro de un rango desde 11% hasta 16% de frecuencia relativa), constituido por: Baetidae y Leptophlebiidae (ambas del orden Ephemeroptera), para el tercer punto; Leptohyphidae (Ephemeroptera) para el segundo punto; Chironomidae (Diptera), para el sexto punto; y Simuliidae (Diptera) para el primer punto.



Cuadro 59. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias de grupos de invertebrados encontrados en los diferentes puntos muestreados del Río Comalapa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo											
	E45.1		E46.2		E47.3		E48.4		E49.5		E50.6	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
DipChi	588	36.87	614	55.32	2429	61.00	911	49.22	651	25.17	125	11.31
EphLepto	29	1.82			439	11.02	30	1.62	36	1.39	28	2.53
EphLep	60	3.76	157	14.14	199	5.00	68	3.67	777	30.05	55	4.98
EphBae	94	5.89	94	8.47	631	15.85	380	20.53	721	27.88	265	23.98
TriHydps	37	2.32	76	6.85	94	2.36						
OdoGom							23	1.24	81	3.13	18	1.63
ColElm	11	0.69	11	0.99	28	0.70	25	1.35	121	4.68	11	
HemVel											83	7.51
DipSim	231	14.48	62	5.59			15	0.81	20	0.77		
ColSta	26	1.63					59	3.19	24	0.93	325	29.41
ColHydph							44	2.38				
DipStr							10	0.54	37	1.43		
ColLimn											56	5.07
DipTip							39	2.11	15	0.58		
DipPsy	38	2.38			23	0.58	90	4.86				
TriPhil	26	1.63	40	3.60	52	1.31						
ColPti							15	0.81				
TriHydpt					53	1.33						
ColDry	314	19.69										
DipCer							49	2.65				
DipEmp							13	0.70				
Coll							16	0.86			54	4.89
DipCul									12	0.46		
TriLept									33	1.28		
ColHel											27	2.44

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 60) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Comalapa, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.



Cuadro 60. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua del Río Comalapa, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
E45.1	471	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, OD y DBO5	57,45 (Regular)	7,14	6,26 (Regular Pobre)	Chironomidae 36,87 (Diptera) Dryopidae 19,69 (Coleoptera) Simuliidae 14,48 (Diptera)
E46.2	379	Cumple con cuatro de seis parámetros: OD, Turbidez, DBO5 y Temp. del agua	56,53 (Regular)	5,00	6,97 (Pobre)	Chironomidae 55,32 (Diptera) Leptohyphidae 14,14 (Ephemeroptera) Baetidae 8,47 (Ephemeroptera)
E47.3	99	Cumple con tres de seis parámetros: Temperatura del agua, Turbidez y DBO5	46,21 (Mala)	3,72	7,04 (Pobre)	Chironomidae 61,00 (Diptera) Baetidae 15,85 (Ephemeroptera) Leptophlebiidae 11,02 (Ephemeroptera)
E48.4	84	Cumple con uno de seis parámetros: DBO5	40,27 (Mala)	6,63	7,06 (Pobre)	Chironomidae 49,22 (Diptera) Baetidae 20,53 (Ephemeroptera) Psychodidae 4,86 (Diptera)
E49.5	23	Cumple con uno de seis parámetros: DBO5	46,25 (Mala)	5,91	6,41 (Regular Pobre)	Leptohyphidae 30,05 (Ephemeroptera) Baetidae 27,88 (Ephemeroptera) Chironomidae 25,17 (Diptera)
E50.6	10	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y DBO5	51,54 (Regular)	9,02	6,07 (Regular Pobre)	Staphylinidae 29,41 (Coleoptera) Baetidae 23,98 (Ephemeroptera) Chironomidae 11,31 (Diptera)

En conclusión, las aguas del Río Comalapa se encuentran entre las categorías regular a malas (pobres), en ambos índices, tanto físico-químico, como biológico. Es importante implementar un sistema de monitoreo oportuno (y periódico) como sistema de vigilancia y tomar las medidas del caso para detener la contaminación y así mejorar la calidad del agua en esta subcuenca.



Figura 14. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Comalapa, 2009.



15. Río Jiboa: Puntos F51.1, F52.2 y F53.3 (Fig.15)

15.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímicos y micro-biológicos (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímicos (Cuadro 61) se puede observar que los valores del Oxígeno Disuelto (OD) y el porcentaje de saturación, se mantienen prácticamente invariables en todo el recorrido del río, aunque su valor se encuentre dentro del mínimo permisible de oxígeno disponible en el agua (4 a 5 mg/L). Este podría verse disminuido en diferentes partes de este cuerpo receptor por las diferentes actividades que en él se desarrollan (extracción de arena y piedra), la cual podría modificar por debajo del mínimo dicho parámetro incidiendo en la calidad del agua como en la vida acuática del mismo. Los Sólidos Totales Disueltos no presentan variaciones grandes entre los puntos. Los Nitratos se encuentran en valores por encima de los permitidos (5 mg/L) en los tres puntos muestreados principalmente en el punto F51.1, debido a diferentes actividades agropecuarias (cultivo de caña y ganadería).

La turbidez y pH aumentan a medida que el río hace su recorrido, debido a que en su trayectoria, pasa por asentamientos humanos, los cuales vierten sus aguas servidas directamente al río, además de utilizarse las aguas para el lavado de ropa. Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales de sus aguas se puede observar que los primeros dos puntos aguas arriba presentan niveles inferiores en relación al punto más bajo de la subcuenca.

Cuadro 61. Análisis físico-químico y microbiológico del Río Jiboa y su relación con Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No. 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
F51.1	Jiboa	416	20.50	22.00	7.67	4.79	60.00	198.90	9.00	1.40	15.30	2.13	24000.00	46.21	Mala
Limite Decreto No. 40	Limite			C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
F52.2	Jiboa	337	34.60	26.00	7.98	4.41	55.60	244.00	136.00	1.30	8.00	1.53	13000.00	33.72	Mala
Limite Decreto No. 40	Limite			C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		
F53.3	Jiboa	64	31.10	25.00	8.22	4.38	56.50	207.00	102.00	1.20	8.00	2.19	160000.00	29.56	Mala
Limite Decreto No. 40	Limite			C*	NC*	NC*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40

De los parámetros evaluados, pH, Oxígeno Disuelto, Turbidez y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en ninguno de los puntos evaluados; mientras el criterio DBO5 cumple con la normativa en todos los puntos muestreados. Estos resultados permiten asignar al agua del río según el ICA, la calificación de calidad "mala" para todos los puntos muestreados. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico



puede solamente pueda apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

15.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser mayor en los puntos comprendidos en el orden desde la parte alta hasta la parte baja con valores de 453, 273 y 151 respectivamente (Cuadro 15.1); mientras que la abundancia de familias tuvo un comportamiento opuesto con 13, 16 y 18 familias (Cuadro 62). Por otra parte al evaluar los diferentes sitios desde el punto de vista de la óptica del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice y considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa (Cuadro 64); resultan ser bastante similares de 3.36, 3.02 y 3.56, en el orden descendente de los puntos de muestreo.

Con respecto al Índice Biológico a nivel de Familias (IBF-SV-2010) se encontraron valores de 6.79, 6.92 y 6.14 para los puntos F51.1, F52.2 y F53.3; los cuales determinaron la calificación de las aguas de este río como “pobre” en los dos primeros puntos de muestreo y solo con una leve mejoría como “regular-pobre” en el último punto (Cuadro 62). En resumen, el IBF-SV-2010 para el caso de los puntos muestreados del Río Jiboa en 2009 (Fig. 15), presenta valores que calificaron la calidad del agua del río en categorías no deseables: “regular pobre” y “pobre”. En cuanto a Coliformes fecales no se dio el mayor nivel en la peor calidad; aunque si correspondió al nivel más alto de DBO5 y concuerda con la calificación de calidad “mala” por el ICA.

Cuadro 62. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Jiboa, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Puntos de muestreo		
	F51.1	F52.2	F53.3
IBF	6.79	6.92	6.14
Categoría	Pobre	Pobre	Regular-pobre
Tot ind (N)	453	276	151
Tot fam (S)	13	16	18
1/Ind. Simpson	3.36	3.01	3.56

Los resultados del índice de Diversidad obtenidos, se relacionan con el predominio relativo de poblaciones de ciertos grupos taxonómicos; como por ejemplo las familias: Staphylinidae (Coleoptera) que representó casi la mitad de la recolecta total del tercer punto F53.3; así como también Chironomidae y Simuliidae (ambas del orden Diptera) para el primero y segundo punto de muestreo en donde ocurren dentro de un rango de frecuencia relativa desde 32% a 41% de la recolecta total de cada punto. Dentro de un rango menor de



frecuencia relativa (13% a 16%), se contabilizaron las poblaciones de las familias Baetidae (Ephemeroptera) y Chironomidae (Diptera), para el primero y tercero puntos de muestreo.

Resulta especialmente interesante apreciar que la presencia e importancia relativa de familias del orden Ephemeroptera en este río, se muestra bastante reducida y mas que todo centrada al primer punto; pero Chironomidae si mantiene algún nivel apreciable de importancia numérica. También es meritorio mencionarse que no es usual encontrar en muchos ríos, las poblaciones de Staphylinidae, que se presenten con gran predominancia como ocurre en el tercer punto.

Cuadro 63. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de familias más sobresalientes de invertebrados encontrados en diferentes puntos del Río Jiboa, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	F51.1		F52.2		F53.3	
	n	%	n	%	n	%
DipChi	182	40,18	108	39,13	23	15,23
EphBae	63	13,91				
DipSim	149	32,89	115	41,67		
ColSta	45	9,93	18	6,52	75	49,67
Oli			11	3,99		
TriHydpt			13	4,71		
ColDry					13	8,61

Para la interpretación de los resultados se han utilizado diferentes índices (Cuadro 64) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; ello permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Jiboa, en general poseen niveles de contaminación cuya congruencia en los resultados es notoria en los diferentes índices e indicadores empleados.

Cuadro 64. Diferentes índices e indicadores de la calidad del agua del Río Jiboa, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
F51.1	416	Cumple con dos de seis parámetros: Temp. del agua y DBO5	46,21 (Mala)	3,36	6,79 (Pobre)	Chironomidae 40,18 (Diptera) Simuliidae 32,89 (Diptera) Baetidae 13,91 (Ephemeroptera)
F52.2	337	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y DBO5	33,72 (Mala)	3,01	6,92 (Pobre)	Simulada 41,67 (Diptera) Chironomidae 39,13 (Diptera) Staphylinidae 6,52 (Coleoptera)
F53.3	64	Cumple con dos de seis parámetros: Temperatura del agua y DBO5	29,56 (Mala)	3,56	6,14 (Regular pobre)	Staphylinidae 49,67 (Coleoptera) Chironomidae 15,23 (Diptera) Dryopidae 8,61 (Coleoptera)



Figura 15. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Jiboa, 2009.

El río en general muestra diversidad baja de la vida acuática (especialmente si se compara con otros ríos estudiados en el año 2009) y sin duda está experimentando probablemente problemas con la contaminación en las condiciones en las que fue visitado. Tales consideraciones son importantes de plantear, debido a que la mayor parte del cauce y la cuenca de este del río fueron fuertemente impactadas por el paso de la tormenta tropical IDA, días antes de la visita de muestreo, la cual arrastró los sedimentos propios del cauce del río e incluso la cobertura boscosa de los alrededores. Sin duda que tal catástrofe natural pudo haber modificado sustancialmente y de forma súbita las poblaciones de las comunidades de organismos acuáticos en general, para estén río.

16. Río Grande de San Miguel y su tributario Río San Sebastián: Puntos H54.1, H55.2 y H56.3 (Fig.16)

16.1. Calidad del agua según análisis fisicoquímico y microbiológico (ICA)

Respecto a los análisis fisicoquímicos (Cuadro 65) se puede observar que el Oxígeno Disuelto (OD) y el porcentaje de saturación, se mantienen prácticamente invariables en los tres puntos seleccionados en el recorrido del río Grande de San Miguel, ya que los datos se encuentran dentro del rango de valores mínimos permisibles de OD que debe poseer un cuerpo de agua (4 a 5 mg/L), y que según algunos autores, si estos valores oscilaran por debajo de lo permisible, hace más difícil la existencia de ciertas especies acuáticas.

Los nitratos son superiores a los valores máximos permisibles (5 mg/L) que pueden contener las aguas de dicho cuerpo receptor; ya que en el punto H55.2, donde recibe las aguas de alrededor de siete ríos tributarios, se tienen valores de 8.4 mg/L de nitratos, esto puede atribuirse al uso excesivo de fertilizantes que son lixiviados por escorrentía o al uso de estas aguas para el lavado de ropa de las poblaciones locales. El resto de puntos se mantienen por arriba de lo máximo permisible, relacionándose también esto, a los parámetros de fosfatos encontrados, en los cuales se observa una tendencia creciente en los niveles de contaminación, aunque los valores son relativamente bajos.



Por otro lado, los valores de pH encontrados en las aguas del Río Grande de San Miguel, se encuentran dentro de los valores aceptables de 6.5 a 8.5; además no se observan cambios bruscos en la temperatura del agua. Con respecto a los Sólidos Totales Disueltos (TDS), DBO5 y a la turbidez, se observa una tendencia creciente de contaminación o calidad disminuida de este parámetro dentro del agua, lo cual puede atribuirse a que este río circula por la Ciudad de San Miguel, donde se vierte gran cantidad de aguas servidas.

En general el río presenta graves problemas de contaminación con especial énfasis en el punto intermedio (H55.2), lo cual es demostrado por el Índice Biótico por Familias (IBF-SV-2010), de igual forma el problema de Coliformes fecales que se incrementa al valor máximo encontrado, siendo que la mayor parte de parámetros fisicoquímicos están en niveles no aceptables. Al analizar los resultados desde la óptica de la presencia de Coliformes fecales el punto intermedio (H55.2) reporta mayor incidencia con 160,000.00 NMP/100 ml. En general los resultados muestran la situación difícil que presentan estas aguas respecto a este parámetro.

De los parámetros evaluados, Temperatura del agua, Oxígeno Disuelto y DBO5, cumplen con los límites establecidos para El Salvador, en todos los puntos evaluados; mientras los criterios Turbidez y Coliformes fecales no cumplen con la normativa en ninguno de los puntos muestreados. Estos resultados asignan la calificación según el ICA de calidad “mala” para los tres puntos muestreados. Los resultados muestran que dicho recurso hídrico puede solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Cuadro 65. Análisis físico-químico y microbiológico del Río Grande de San Miguel y su tributario San Sebastián y su relación con las Normas Técnicas de Calidad de Aguas (Decreto No 40), 2009.

Código Cuenca	Nombre del río	Altura (msnm)	T. amb. (°C)	T. agua (°C)	pH	OD (mg/L)	SOD (%)	TDS (mg/L)	Turbidez (FAU)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO5 (mg/L)	C. fecales (NMP/100 mL)	Puntaje (ICA)	Clasificac. (ICA)
H54.1	Grande de San Miguel	252	29.00	26.00	7.80	5.15	66.80	73.30	15.00	0.60	7.30	1.15	50000.00	49.46	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	NC*	C*			NC*			C*	NC*		
H55.2	Grande de San Miguel	91	26.00	27.00	7.12	5.28	69.00	128.90	36.00	0.70	8.40	4.35	160000.00	42.17	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	C*	C*			NC*			C*	NC*		
H56.3	Grande de San Miguel	61	23.00	28.00	7.26	5.20	67.10	125.30	69.00	1.20	7.60	3.44	90000.00	37.45	Mala
Limite Decreto No. 40				C*	C*	C*			NC*			C*	NC*		

*C= Cumple con la norma establecida en el Decreto 40

*NC= No cumple con la norma establecida en el Decreto 40



16.2. Interpretación de la información biológica (IBF-SV-2010)

La recolecta general de individuos (abundancia) de invertebrados (n), en este río, resultó ser mayor en el primer punto (H54.1), con una recolecta general de 11,633 individuos, la cual presenta la mayor recolecta de todo el estudio, mientras que los otros puntos mostraron niveles de recolecta comparativamente mucho menores desde 654 (H54.1) hasta 1057 individuos (H56.3) (Cuadro 66). De tales puntos, en el primero que tuvo la recolecta menor, se presentó el mayor número de familias (27); mientras que en los otros dos con mayor recolecta, fueron encontradas menos familias, dentro del rango 16 -19.

Al evaluar los diferentes puntos de muestreo del río desde el punto de vista del Índice de Diversidad (Concentración de Riqueza Biológica) de Simpson 1949, en su versión matemática como valor inverso de dicho índice, y considerando los grupos taxonómicos que se encontraron en una abundancia mínima de 10 individuos por punto y con base en abundancia relativa; se obtuvieron valores de 7.36, 2.11 y 3.59 para los sitios H54.1, H55.2 y H56.3, respectivamente; los cuales indican que en términos de posible estabilidad ecológica fundamentada en la mayor equitatividad en la distribución de grupos taxonómicos (en este caso familias) dentro del volumen de recolecta general de organismos acuáticos; el punto con mejores condiciones es el primero, deteriorándose mucho las condiciones en los sitios segundo y tercero, en los cuales cada vez menos cantidad de grupos taxonómicos predominantes, Chironomidae y Simuliidae en el segundo punto; Baetidae y Gastropoda en el tercer punto.

Con respecto al Índice Biológico a nivel de Familias (IBF-SV-2010) se encontraron valores de 5.81, 7.05 y 6.32, obteniendo categorías de “regular-pobre”, “pobre” y “regular-pobre” para la calidad del agua del río en los puntos H54.1, H55.2 y H56.3 respectivamente. Tal conjunto de valoraciones se relaciona, como ha sido sugerido anteriormente, con la presión orgánica a la que es sometida, especialmente con referencia al segundo punto, con los altos niveles de coliformes fecales. En todo caso el tramo del río estudiado tiene afectaciones importantes en su calidad de agua, inclusive en las partes más altas de su cuenca; aunque allí la situación es un tanto más favorable; pero siempre lejos del ideal.

Cuadro 66. Índices biológicos, abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en los puntos de muestreo del Río Grande de San Miguel y su tributario Río San Sebastián, El Salvador, 2009.

Valoraciones	Sitios de muestreo		
	H54.1	H55.2	H56.3
IBF	5.81	7.05	6.32
Categoría	Regular pobre	Pobre	Regular pobre
Tot ind (N)	654	11633	1057
Tot fam (S)	27	19	16
1/Ind. Simpson	7.36	2.11	3.59



Las poblaciones de las familias de invertebrados acuáticos encontradas (Cuadro 67) en cada punto de muestreo, se relacionaron de diferente manera con la cantidad general de la recolecta en cada punto mostrando diferente nivel de predominio en cada punto, sin duda influido al menos en parte, por las características propias de cada lugar. En primera instancia, resaltan las familias Chironomidae y Simuliidae (ambas del orden Diptera), en el segundo punto de muestreo (H55.2), con una frecuencia relativa dentro del rango 45% a 52% de la recolecta total del punto; además del grupo de los caracoles (Clase Gastropoda) con una frecuencia relativa de 46%, en el tercer punto (H56.3).

En segunda instancia deben citarse a las familias Baetidae (H56.3) y Leptophlebiidae (H54.1), ambas del orden Ephemeroptera; las cuales se presentaron dentro del rango de 18% a 23% de frecuencia relativa dentro de la recolecta general de cada punto; así como Chironomidae (Diptera), para el primer punto de muestreo (H54.1). En un tercer grupo de importancia por su nivel de frecuencia relativa dentro del rango desde 11% hasta 19%, se posicionan las familias Elmidae (Coleoptera), Leptohiphidae y Baetidae (Ephemeroptera) en el primer punto de muestreo. Con respecto al punto intermedio se encontró una predominancia de familias que se adaptan a condiciones de alta presencia de material orgánico, específicamente del orden Diptera como los Chironomidae (51.48%) y Simuliidae (45.74%).

Se conoce que en general, los grupos de invertebrados acuáticos que ya se han mencionado para este punto y los demás, se asocian con ambientes acuáticos afectados por contaminación orgánica, condición que con especial referencia al segundo punto de muestreo del río (H55.2), es potenciada posiblemente porque aproximadamente a siete kilómetros aguas arriba, el río es impactado por los vertidos de aguas servidas del Municipio de San Miguel, siendo notoria además la poca diversidad de familias (19), muy parecida en esta medición el tercer punto de muestreo (H56.3), con 16 familias; contrastando ambos puntos con el primero, en donde se encontraron 27 familias. Conviene mencionar que la abundancia de Chironomidae cae abruptamente en el punto tres, en relación a los dos puntos anteriores, casi desapareciendo. En primera instancia y sin disponer a ciencia cierta de factores causales para una explicación firme que demuestre tal tendencia a la desaparición de esta familia en el tercer punto, solo queda considerar que en dicho punto probablemente ocurran condiciones especiales en la calidad del agua, que favorezcan más la proliferación de unos grupos taxonómicos en detrimento de otro; influidas en parte por el hecho de que este último punto de muestreo del Río Grande de San Miguel, el cauce ya ha recibido las aguas de otros afluentes con sus propias cargas de contaminantes sólidos y líquidos; tales como los ríos El Jute, Taisihuat, El Tejar, El Guayabal, Las Cañas, Gualabo y Chapelrique entre otros; localizándose el afluente más próximo a 2.2 km aguas arriba. La distancia de este punto al segundo (E55.2) es de 11.6 km y la distancia a la población urbana más importante (Ciudad de San Miguel) que le impacta es 17.7 kilómetros.



Cuadro 67. Abundancia absoluta (n) y relativa (%) de las familias más sobresalientes de grupos de invertebrados encontrados en los diferentes puntos muestreados del Río Grande de San Miguel y su tributario Río San Sebastián, El Salvador, 2009.

Grupo taxonómico	Puntos de muestreo					
	H54.1		H55.2		H56.3	
	n	%	n	%	n	%
DipChi	122	18.65	5989	51.48	45	4.26
EphLepto	145	22.17	39	0.34		
EphLep	79	12.08				
EphBae	107	16.36	122	1.05	239	22.61
TriHydps	37	5.66	25	0.21	64	6.05
ColElm			11	0.09		
DipSim	27	4.13	5321	45.74	53	5.01
OdoLib	13	1.99				
Oli			79	0.68	83	7.85
Gas					487	46.07
DipPsy					26	2.46
PlePer	16	2.45				
OdoElm	77	11.77				
Plan					36	3.41

Para la interpretación de los resultados se utilizaron diferentes índices (Cuadro 68) que permiten entender de una mejor manera la situación de contaminación del recurso hídrico analizado; esto permite además ratificar que los diferentes puntos estudiados del Río Grande de San Miguel y su tributario San Sebastián, en general poseen niveles de contaminación notoriamente congruentes con los resultados para diferentes índices e indicadores.

Cuadro 68. Diferentes índices e indicadores utilizados para determinar la calidad del agua en tres sitios del Río Grande de San Miguel y su tributario San Sebastián, 2009.

Código de cuencas	Altitud (msnm)	Decreto No. 40	ICA	1/Índice de Simpson	IBF-SV-2010	Familias de insectos acuáticos de mayor frecuencia (%)
H54.1	252	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, OD y DBO5	49,46 (Mala)	7,36	5,81 (Regular Pobre)	Leptophlebiidae 22,17 (Ephemeroptera) Chironomidae 18,65 (Diptera) Baetidae 16,36 (Ephemeroptera)
H55.2	91	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, pH, OD y DBO5	42,17 (Mala)	2,11	7,05 (Pobre)	Chironomidae 51,48 (Diptera) Simuliidae 45,74 (Diptera) Baetidae 1,05 (Ephemeroptera)
H56.3	61	Cumple con tres de seis parámetros: Temp. del agua, pH, OD y DBO5	37,45 (Mala)	3,59	6,32 (Regular Pobre)	Gastropoda 46,07 Baetidae 22,61 (Ephemeroptera) Oligochaeta 7,85



En el primer punto de muestreo (H54.1: Río San Sebastián), de este sistema hidrológico y en comparación con los puntos segundo y tercero se aprecian a simple vista algunas características de limpieza del agua del río; a pesar de que el punto recibe cierta presión por parte de pobladores locales al desarrollar acciones de lavado de ropa y abrevadero de ganado, entre otras. En general, ambos índices aplicados (tanto físico-químico como biológico) resultan en una calidad mala (regular-pobre y pobre) del agua, reflejando sobre todo los altos niveles de coliformes fecales. Por lo tanto, es importante implementar un sistema de monitoreo periódico para detener los procesos de deterioro en la cuenca y vigilar que no aumenten los niveles de contaminación.



Figura 16. Vista general de cada uno de los puntos muestreados del Río Grande de San Miguel (H55.2 y H56.3) y su tributario San Sebastián (H54.1), 2009.

III. Resultados globales de calidad de las aguas de los ríos donde se realizó el estudio

En general se estudiaron 56 puntos o sitios de muestreo distribuidos en 16 subcuencas; tanto en los ríos principales, como en algunos afluentes. Los puntos muestreados se encuentran ubicados en diferentes zonas estratégicas: la zona de altura, zona intermedia y baja. Los resultados de categorización para los diferentes ríos (Cuadro 69) con el índice biológico a nivel de Familia (IBF-SV-2010), desarrollado en el marco de esta investigación, muestran que sólo el 5.4% se ubican en la categoría de buena calidad; mientras que el 21.4% se clasifican como “regular”. Más de la mitad de los puntos o sitios estudiados se ubican en las categorías de “regular-pobre” (26.8 %) y “pobre” (33.9%). Finalmente, un 12.5% se clasificaron como “muy pobre”.

Es notable que la mayoría de ríos quedaran en categorías que presentan algún grado de contaminación ya que solo el 5.4% están ubicados en la categoría de buena calidad. Esto es un elemento que debe tomarse muy en cuenta debido a la degradación que se ha detectado en los puntos o sitios muestreados ya que es difícil predecir la situación de contaminación o de recuperación que pueda estar sucediendo entre uno y otro punto dentro de un mismo río, por lo que es urgente tomar medidas tendientes a revertir los procesos de contaminación o al menos reducir los niveles de impacto. La presente investigación constituye una alternativa de monitoreo de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, luego de respectivas validaciones ya que esta metodología permite reducir significativamente los costos económicos en relación al análisis fisicoquímico convencional. También, permite tener



actualizados los inventarios biológicos de los diferentes invertebrados acuáticos de las aguas superficiales del país. Los pocos puntos considerados en la categoría “buena”, corresponden a lugares no sujetos a mucha perturbación antropogénica y ubicados en áreas naturales protegidas lo cual indica que haciendo un buen uso de los recursos naturales, es factible generar menor deterioro. Al observar el mapa de distribución de los diferentes puntos muestreados a nivel nacional, puede observarse como las categorías de calificación de la calidad de aguas de los ríos están distribuidas en el territorio nacional (Fig. 17).

Cuadro 69. Categorías de calidad de agua de ríos de El Salvador, según el índice Biológico a nivel de Familia en El Salvador (IBF-SV-2010)

Nombre del río	Código del punto	Categ.	Código del punto	Categ.	Código del punto	Categ.	Código del punto	Categ.	Código del punto	Categ.	Código del punto	Categ.
Lempa	A01.1	P	A02.2	R	A03.3	P						
San José	A04.1	B	A05.2	R	A06.3	RP						
Sumpul	A07.1	B	A08.2	R	A09.3	R						
Torola	A10.1	RP	A11.2	R	A12.3	RP						
Sapo	A13.1	R	A14.2	R	A15.3	R	A16.4	R	A17.5	R		
Sucio	A18.1	RP	A19.2	P	A20.3	P						
Suquiapa	A21.1	MP	A22.2	P	A23.3	RP						
Acelhuate	A24.1	MP	A25.2	MP	A26.3	MP						
Titihuapa	A27.1	RP	A28.2	P	A29.3	R						
Acahuapa	A30.1	RP	A31.2	P	A32.3	R						
Cara Sucia	A33.1	B	A34.2	RP	A35.3	P						
Sensunapán	D36.1	P	D37.2	P	D38.3	RP	D39.4	P	D40.5	MP	D41.6	MP
San Antonio	E42.1	MP	E43.2	P	E44.3	P						
Comalapa	E45.1	RP	E46.2	P	E47.3	P	E48.4	P	E49.5	RP	E50.6	RP
Jiboa	F51.1	P	F52.2	P	F53.3	RP						
Grande de San Miguel	H54.1	RP	F55.2	P	F53.3	RP						

(B=Bueno; R=Regular; RP=Regular Pobre; P=Pobre; MP=Muy Pobre)

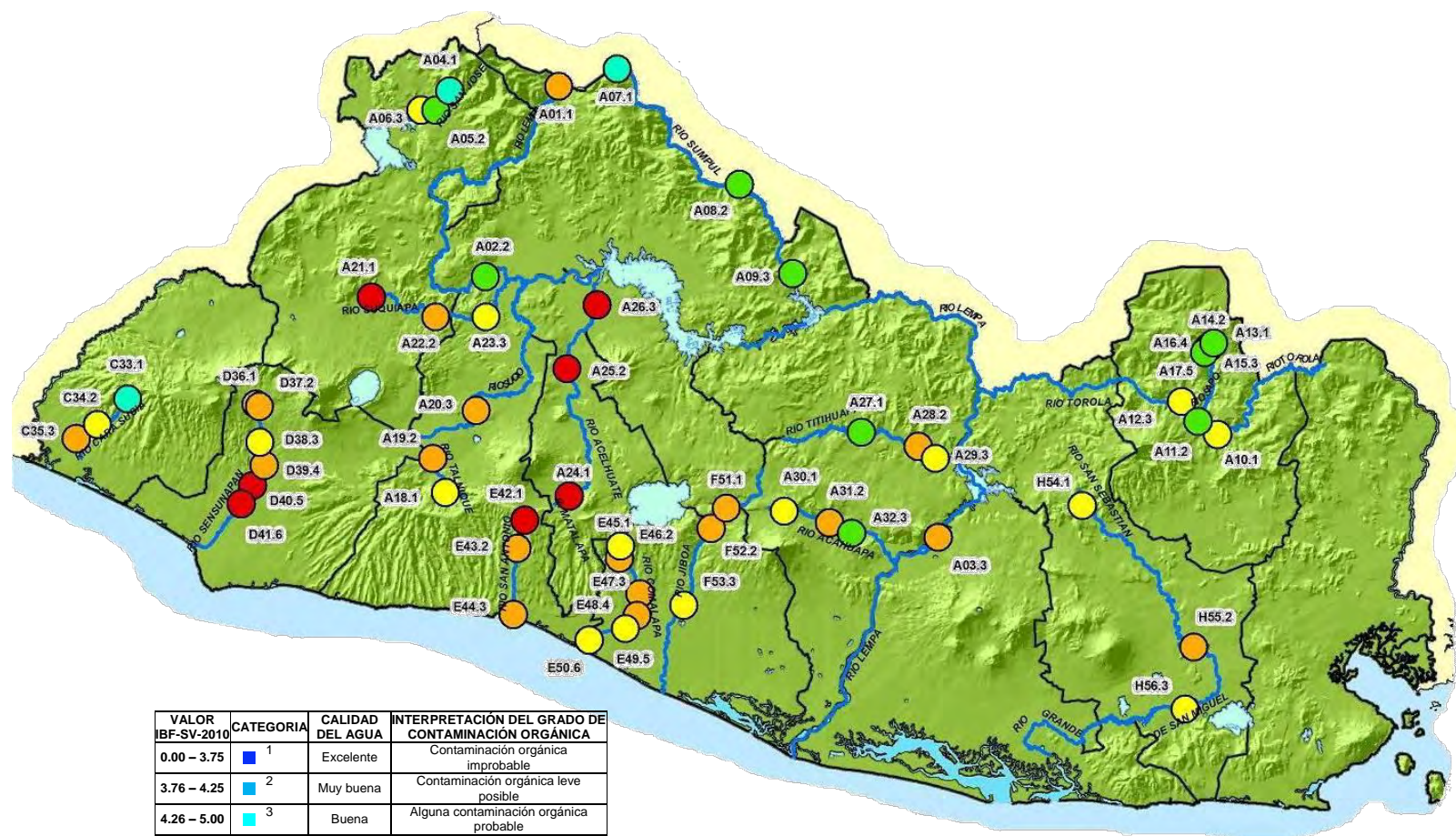


Figura 17. Clasificación de la calidad de las aguas de los principales ríos del país a través del uso del Índice Biológico o Biótico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)



IV. Referencias bibliográficas

- Hilsenhoff, W.L. 1987. An improved Biotic Index of Organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist Journal* 20: 31-39.
- Hilsenhoff, W.L. 1988a. Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society* 7 (1): 65-68.
- Hilsenhoff, W.L. 1988b. Seasonal correction factors for the biotic index. *Great Lakes Entomologist Journal*. 21: 9-13.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Editores: Cooperación Iberoamericana (CYTED), oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe (ORCYT-UNESCO) y Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Zaragoza, España. pp. 21, 23, 24, 41.
- Norris, R.H. & A. Georges. 1993. Analysis and interpretation of benthic Macroinvertebrate Surveys. Chapter 7. pp. 240-241. *En*: Rosenberg, D.M. & V.H. Resh (eds.) 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall Inc. New York, U.S.A.
- Presidencia de la Republica de El Salvador. 2000. Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental. Decreto N° 40. DO. No.101, Tomo No. 347, fecha 1° Junio de 2000.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador. 2010. Índice de Calidad del Agua General "ICA" Documento informativo consultado en Internet, en fecha 27 marzo de 2010, en la dirección electrónica: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>
- Southwood, T.R.E. 1978. *Ecological Methods, with particular reference to the study of Insect populations*. Chapman and Hall, London, U.K. 2nd ed., pp. 423, 425-427.

V. Agradecimientos

El Proyecto **"Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la Calidad Ambiental de las Aguas de los ríos de El Salvador utilizando Insectos Acuáticos"**, desarrollado desde Mayo de 2009 hasta Marzo de 2010, con apoyo económico del fondo FEMCIDI de la Organización de Estados Americanos (OEA) y coordinado en la Universidad de El Salvador (UES) a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, y el apoyo participativo de personal de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (Sede San Vicente), Facultad de Química y Farmacia (Sede Central), Facultad Multidisciplinaria de Occidente (sede Santa Ana), Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) y Universidad de Costa Rica (UCR); reconocen que el desarrollo del presente proyecto no hubiese sido posible sin la participación y dedicación excepcional de una gran cantidad de personas que desinteresadamente en diferentes instancias y circunstancias brindaron un apoyo clave para la exitosa marcha de las diversas actividades de campo, laboratorio y oficina para generar, procesar y ordenar la información para producir los resultados esperados como principales productos del proyecto.

Por tales razones desea expresar sus más sincero agradecimientos a las personas e instituciones que se mencionan a continuación; no sin antes solicitar las disculpas del caso, si por algún olvido involuntario, se haya omitido algún nombre de personas o instituciones.



A los estudiantes de últimos años y tesis de las Carreras de Ingeniería Agronómica, UES: Jesús Altagracia Zepeda Aguilar, Johanna María Chávez Sifontes, Pedro Enrique Orellana Hernández, Robin Erick Hernández Rivera y Erick Eduardo Orantes Guerrero; quienes dedicaron muchas horas de esfuerzo continuo en campo y laboratorio, para la recolección y procesamiento de muestras biológicas.

A los estudiantes de últimos años y tesis de las carreras de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, San Salvador, UES: Ana Karla Castillo Ayala y Rubén Ernesto López Sorto; quienes se motivaron por el desarrollo del Proyecto y apoyaron mucho trabajo especialmente de laboratorio. Además, se agradece el apoyo de Luis Enrique Castillo.

A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Ingeniería Agronómica, San Salvador, UES: Juan Antonio Hernández, José Ricardo Farfán Aguilar, Rafael Antonio Muñoz Aguillón, Noé David Linares Brizuela, María Julia Galan Hernández, y Eddie Arturo Vaquerano Madrid; quienes fueron valioso apoyo eventual para acelerar la limpieza y el procesamiento de muestras biológicas, incluso en días de asueto.

A los estudiantes de años intermedios de la Carrera de Licenciatura en Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador, UES: Alejandra Xiomara Perla Ramírez, Javier Alexander Mejía Hernández y Enrique Alfonso Mendoza Vaquerano; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Sol María Muñoz Aguillón y Nelson Antonio Ortiz.

A los estudiantes de la Facultad Multidisciplinaria Occidental, Carrera de Licenciatura en Biología (Santa Ana), UES: Adalberto Ernesto Salazar Colocho (Tesis), Cintia Paula García Pineda (Tesis), Patricia Maribel Godínez Guardado (Tesis), Leslie Eunice Quintanilla Carrillo, Rosa María Estrada Hernández, Balmore Mauricio Hidalgo Aguilar y Sergio Salvador Moreno Samayoa; quienes brindaron su cooperación con el procesamiento de material biológico en laboratorio.

A los recién graduados en la Carrera de Ingeniería Agronómica, UES: Ingenieros agrónomos: Ricardo Ernesto Gómez Orellana, Lizzette Hernández Lovato, Dalila Elizabeth Vega Morales, Rosa Margarita Salinas Baquero y Carlos Ernesto Villegas Martínez; cuya cooperación fue siempre espontánea y oportuna, dando su mejor esfuerzo para sumarse a la buena marcha del proyecto desde campo hasta laboratorio.

A los señores motoristas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES: René Herrera, Mauricio Salazar, José Armando Vigil, Felipe Corleto y Marvin Escobar, por tener el esmero y paciencia suficiente, para realizar los viajes de campo desde muy temprano hasta muy tarde del día, hacia diferentes sitios requeridos por el proyecto.

Al personal de mujeres y hombres guarda recursos de las Áreas Naturales Protegidas de los Parques Nacionales de: Montecristo (Metapán, Departamento de Santa Ana), El Imposible (San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapán), La Joya (San Vicente, Departamento de San Vicente), Río Sapó (Arambala, Departamento de Morazán); quienes siempre brindaron su mejor disposición de acompañamiento y colaboración en la recolección de material biológico requerido por el Proyecto.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas (San Salvador), UES: Ing. Agr. Gustavo Henríquez Martínez e Ing. Agr. Dora Antonia Villeda; quienes apoyaron en el procesamiento e identificación de material biológico a nivel de laboratorio. Además, brindaron su apoyo Ing. Agr. M.Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Balmoro Martínez Sierra. A Lic. Macario Pineda y William Alexander Aguilar, quienes cooperaron con alguna necesidad de traducción de inglés al español. A la Licda. Idalia Rosmeri Erroa Ramos, por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

A los docentes del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral (San Vicente), UES: Ing. Agr. Nelsus Armando López Turcios y Wilber Samuel Escoto, por su colaboración en actividades de campo y laboratorio que requirió el proyecto.

A los investigadores entomólogos: Dra. Andrea Joyce (Univ. de Texas A&M) y Dr. Mark Breindenbaugh (Youngstone Air Reserve Station, Department of Defense, U.S.A); quienes visitaron al proyecto, impartiendo charlas e identificación de insectos acuáticos y brindaron ideas para nuevas visiones de posibles trabajos futuros que podrían relacionarse con el avance actual de los estudios del proyecto.

A los siguientes investigadores de la Universidad de Costa Rica: M.Sc. Monika Springer, Lic. Pablo Gutiérrez y Lic. Danny Vásquez; por el apoyo muy valioso e incondicional en capacitaciones teórica-prácticas, identificación y conteo de los individuos de las diferentes familias de organismos acuáticos y asesoría en el ordenamiento de la información. A la M.Sc. Catalina Benavides, quien ayudó con la revisión de los mapas de distribución y el Atlas de organismos acuáticos y a Lic.



Fresia Villalobos por su ayuda con la revisión y edición de los documentos. Además, al Biol. Edwin Céspedes por su apoyo en el trabajo de diatomeas.

Al equipo de técnicos responsables de la ejecución de las actividades centrales de campo, laboratorio y oficina del proyecto, dentro del área de acción propia de cada una de sus unidades de trabajo: Licda. Biol. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador); Ing. Agr. Dagoberto Pérez (Departamento de Agronomía, Facultad Multidisciplinaria Paracentral); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Ángel Hernández Martínez (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Postgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím., Blanca Lorena Bonilla de Torres, Licda. Quím. Ada Yanira Arias de Linares, Lic. Quím. Freddy Alexander Carranza Estrada, Lic. Quím. Juan Milton Flores Tensos (Laboratorio Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas); Licda. Quím. Coralia de los Ángeles González Velásquez (Laboratorio de Microbiología, Facultad de Química y Farmacia / CENSALUD); Lic. Biol. David Rosales Arévalo (Departamento de Biología, Facultad Multidisciplinaria Occidental); Ing. Agr. M.Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos (colaboración particular); Ing. Agr. MSc Andrés Wilfredo Rivas Flores, Ing. Agr. MSc. Rafael Antonio Menjívar Rosa e Ing. Agr. Leopoldo Serrano Cervantes (Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas).

Al personal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), por su apoyo durante toda la ejecución del proyecto, proporcionando los permisos de recolecta científica e incorporando a técnicos en las actividades. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Dr. Jorge Quezada, Dr. Enrique Barraza, Lic. Néstor Herrera, Licda. Zulma de Mendoza, Licda. M.Sc. Ana Jeannette Monterrosa Urías y Lic. Walter Rojas.

Al personal del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET-MARN), por su apoyo a través del Laboratorio de Calidad de Agua. Algunos de ellos se mencionan a continuación: Ing. Ana Deisy López Ramos, Ing. Zulma Mena y Licda. Bessy Margarita Soto.

A la Organización de Estados Americanos (OEA), en sus oficinas centrales en Washington, USA. y la representación en El Salvador; por su confianza, apoyo financiero, administrativo y logístico al proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Mónica Gómez e Ing. Santiago Noboa (Gerencia General FEMCIDI, Washington, USA), Ing. Rogelio Sotela (Representante oficina de la OEA en El Salvador), Licda. Milagro Martínez de Torres Chico (Oficial Técnico Administrativo), Sr. Jorge Morataya, Sra. Gertrudis Bonilla, Sra. María Santos Enamorado y Srta. Claudia Menjívar (OEA-El Salvador).

A la Junta Directiva y al personal del Decanato y Vice-decanato de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES, por respaldo institucional, apoyo administrativo y logístico para la ejecución de las distintas actividades requeridas por el proyecto.

A la Rectoría, Consejo Superior Universitario y Asamblea General Universitaria de la Universidad de El Salvador, por otorgar respaldo institucional como contraparte del proyecto.

Al personal de Relaciones Internacionales de la Universidad de El Salvador (UES), por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Ada Ruth Gonzáles de Nieto, Lic. María Teresa Escalona y Lic. Francisco Gutiérrez.

Al personal del Ministerio de Relaciones Exteriores de El Salvador, por su valioso apoyo en la gestión para la aprobación del proyecto. Entre algunas personas se mencionan Licda. Doribel Quintanilla y Lic. Francisco Rivas.

Al personal del programa Campus de la Universidad de El Salvador (UES), por apoyar en divulgación televisiva y escrita de actividades del proyecto.

Gracias a Dios sobrepasamos las metas propuestas.

Con sincero reconocimiento y a nombre del grupo de docentes investigados principales responsables de la ejecución del proyecto.

Atentamente:

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas
 Coordinador General del Proyecto
 E-mail: jmsermeno@yahoo.com; jose.sermeno2010@gmail.com