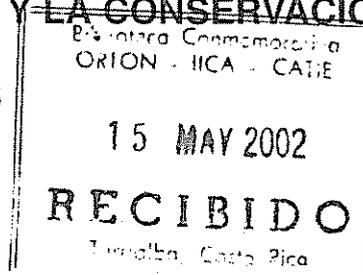


CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION

ESCUELA DE POSGRADUADOS



**IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA CALIDAD DEL
AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO TALNIQUE, EL SALVADOR**

POR

MARIO ENRIQUE SAGASTIZADO MÉNDEZ

CATIE

Turrialba, Costa Rica
2001

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO



IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA
CUENCA DEL RÍO TALNIQUE, EL SALVADOR

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito parcial para optar al grado de

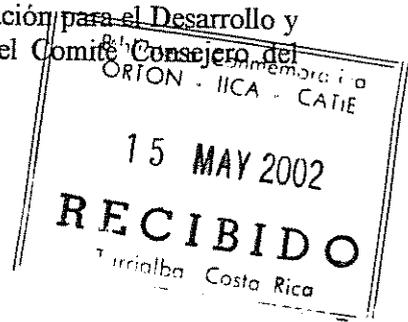
Magister Scientiae

Por

Mario Enrique Sagastizado Méndez

Turrialba, Costa Rica, diciembre del 2001

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

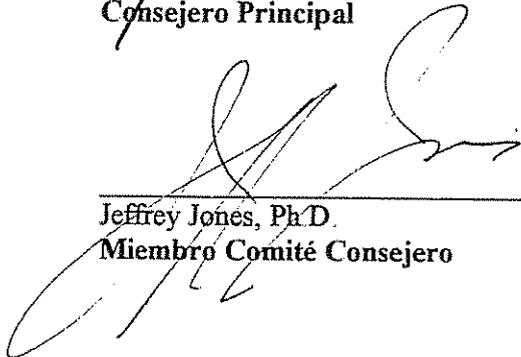


MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



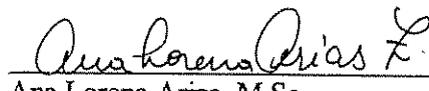
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Consejero Principal



Jeffrey Jones, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ana Lorena Arias, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado



Mario Enrique Sagastizado Méndez
Candidato

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia de Cooperación Danesa (ASDI) por el financiamiento de los estudios en CATIE.

A los miembros del comité de tesis Dr. Muhammad Ibrahim, Dr. Jeffrey Jones, Dr. Francisco Jiménez y Ana Lorena Arias M.Sc. por su disposición para orientar la investigación, sus comentarios y aportes críticos. Al Dr. Gilberto Paéz por su valiosa colaboración y apoyo durante mi estadía en la Escuela de Posgrado.

A los miembros del Equipo de Trabajo del Programa Ambiental de El Salvador (PAES), Ing. Rafael Antonio Huezco, Ing. Daysi López, Lic. Zulma Mena e Ing. Giovanni Molina por haberme apoyado decididamente en la ejecución de la investigación. Al personal de la Unidad de Monitoreo de Recursos Hídricos del PAES, Ing. Luis Tobar, Jorge Martínez, Ventura Guirola, Miguel Siguenza y Salvador Pérez, por su valioso apoyo en el trabajo de campo, a la Ing. Roxana de Castillo, Lic. Rosa Hernández y Ruth Mangandi por su colaboración en la realización de análisis de aguas. Al Ing. Leonardo Merlos, Jefe del Área de Hidrología y Meteorología de la DGRNR (MAG) por el apoyo en la obtención de la información climática.

Al proyecto FOCUENCAS y Proyecto Lempa por su apoyo económico para la realización de la presente investigación en El Salvador.

A Lic. Jeannette Monterrosa por su orientación en la investigación y análisis de la información biológica, a Mónica Springer por su valiosa ayuda en la determinación taxonómica y oportuna colaboración.

A mis compañeros de promoción y amigos, en especial a Blanca, Vanesa, Martha, Mauricio, Mirtha y Cristina quienes me brindaron amistad y apoyo.

Al personal de la Escuela de Postgrado, por su constante ayuda. A los miembros del Centro de Computo por su apoyo en los análisis de datos y al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton por su permanente colaboración.

CONTENIDO

	PAG.
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
Capítulo I.Introducción	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis	4
1.3 Literatura citada	4
Capítulo II.Revisión de Literatura	6
2.1 Elementos morfológicos de los sistemas fluviales	6
2.1.1 Orden de las corrientes	7
2.2 Procesos físicos y químicos de las corrientes	7
2.3 Rangos naturales de los constituyentes de las aguas.....	10
2.4 Problemas de calidad del agua	11
2.4.1 Impactos de la contaminación del agua por actividades agrícolas	12
2.4.1.1 Contaminantes agrícolas	12
2.4.1.2 Producción de sedimentos	13
2.4.2 Eutroficación	14
2.4.3 Sedimento y turbidez.....	14
2.4.4 Demanda biológica de oxígeno (DBO _{5,20})	15
2.4.5 Otras fuentes de contaminación	16
2.5 Aspectos biológicos de la contaminación	16
2.6 Autodepuración de las aguas contaminadas	18
2.6.1 Factores involucrados en la autodepuración de las aguas	19
2.6.2 Zonas de autodepuración de una corriente	20
2.7 Prevención de la contaminación	22
2.7.1 Parámetros para el análisis físico – químico del agua	23
2.7.2 Indicadores de contaminación orgánica	24
2.7.3 Determinaciones analíticas	26
2.7.4 Análisis bacteriológico	27

2.7.5 Restricciones del uso del agua debido a la degradación de su calidad	27
2.8 Parámetros y guías de calidad del agua	28
2.9 Criterios básicos para el monitoreo de calidad en cuerpos hídricos superficiales	29
2.9.1 Estudio de contaminación que priorizan el enfoque de cuenca	30
2.10 Índices de calidad ambiental	33
2.10.1 Índice de calidad del agua	33
2.11 Índice de diversidad biológica y su aplicación en los estudios de contaminación	36
2.12 Literatura citada	38
Capítulo III. Artículo 1: Caracterización e impactos sobre la calidad de las aguas de la cuenca del Río Talnique y las implicaciones para su uso	42
3.1 Introducción	43
3.2 Materiales y Métodos	45
3.3 Resultados	59
3.4 Discusión	76
3.5 Conclusiones	102
3.6 Recomendaciones	103
3.7 Literatura citada	104
Capítulo IV. Artículo 2: Aplicación de Índice de calidad de agua (ICA) y de diversidad de macroinvertebrados acuáticos en estudio de contaminación de la cuenca del río Talnique, El Salvador	108
4.1 Introducción	109
4.2 Materiales y Métodos	112
4.3 Resultados	117
4.4 Discusión	127
4.5 Conclusiones	140
4.6 Recomendaciones	141
4.7 Literatura citada	142

Capitulo V.Conclusiones y Recomendaciones	145
5.1 Conclusiones	145
5.2 Recomendaciones	146
APENDICES y ANEXOS	148

RESUMEN

Sagastizado M, ME. 2001. Impacto del uso de la tierra en la calidad del agua en la cuenca del Río Talnique, El Salvador.

Palabras claves: cuenca hidrográfica, calidad de agua, contaminación, macroinvertebrados, diversidad, Río Talnique.

Entre marzo a junio del 2001, se realizó una caracterización de calidad química y biológica en 8 estaciones sobre la cuenca del Río Talnique, La Libertad, El Salvador, desde la parte alta hasta las tierras bajas . Se comparó el aporte de contaminantes de los drenajes principales Quebrada Niágara, Río Ateos y Canal Chuchucato y el impacto verificado en el cauce principal. Los sectores superiores presentan plantaciones de café bajo sombra, mientras las tierras aledañas a los cauces inferiores presentan una mayor urbanización y áreas agrícolas. Se midieron parámetros básicos como temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad y análisis como Demanda Biológica de Oxígeno, Amonio, Nitratos, Fosfatos, Cloruros, Dureza, Sólidos Disueltos y Suspendidos. Se realizó el análisis bacteriológico de Coliformes y diversidad de macroinvertebrados para determinar grupos indicadores de perturbación del ambiente acuático. Las fuentes puntuales de contaminación constituyen los drenajes domésticos, botaderos de residuos sólidos y desperdicios de agroindustrias. Los parámetros destacan una moderada reducción de la calidad en la parte baja de la cuenca, en dónde se ubica las áreas de riego del Distrito de Zapotitán y una mayor concentración poblacional. Las aguas no son aptas para consumo humano, se destaca el alto nivel de conductividad, sólidos disueltos y cloruros. Las descargas de origen industrial incrementaron los sólidos en suspensión y disueltos en Canal Chuchucato. Altos niveles de dureza y altos contenidos de cloruros fueron frecuentes en ciertos sectores. La comunidad de macroinvertebrados alcanzó una composición de 57 especies pertenecientes a 9 Ordenes. El tramo superior de San José Los Sitios (E03) presentó la mayor diversidad (H') de 2.96 ± 0.68 , mientras que el promedio más bajo fue de 1.46 ± 0.69 en los sectores bajos, posterior a la desembocadura de Río Ateos. Los grupos más diversos fueron Odonata, Ephemeroptera, Hemiptera y Coleóptera. Mejores condiciones de calidad química, disponibilidad de alimentos y bajos niveles de disturbio en los cauces superiores pueden ser factores importantes

para permitir un mayor desarrollo de insectos acuáticos. Mientras el índice de calidad química catalogó las condiciones como regulares, el índice biológico de Hellawell separó las estaciones y sectores de manera diferente, favoreciendo los tramos superiores e intermedios. Los muestreos preliminares del plancton determinaron especies indicadoras de contaminación orgánica como *Lyngbia birgei*, *Euglena acus*, *Navícula radiosa*, *Cladophora sp.*, de aguas limpias como *Cocconeis sp.* y *Cymbella cistula*, aparecieron las especies *Spirogyra majuscula*, *Synedra ulna* y *Tabellaria sp.* como causantes de mal olor al agua. El zooplancton fue escaso y se compuso de protozoarios, rotíferos y quistes de helmintos, lo que es un indicativo de contaminación orgánica y bajos niveles de saneamiento ambiental.

ABSTRACT

Land Use impact on the water quality in the watershed of Río Talnique, El Salvador.

Key words: river basin, impact, contamination, water quality, macroinvertebrates, diversity, Río Talnique.

From march to june 2001 a physico – chemical and biological characterization was carried out in Río Talnique in eight stations, La Libertad, El Salvador, from headwaters to its lowplain courses. The discharge of the main inflow Quebrada Niagara, Ateos River and Canal Chuchucato, and studied its effect on main course. The sectors in headwaters are covered mainly by coffe shade plantations and in the lowland show greater urban and agricultural areas. Were measured basic parameters like temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, salinity, and analytical measurements like Biochemical Oxygen Demand, Ammonia, Nitrates, Phosphates, Chlorine, Hardness, Dissolved and suspended solids. A bacteriological analysis include the coliform bacteria. A preliminar macroinvertebrate analysis was made to determinate posible indicator groups of the levels of disturbance. The punctual source of contaminant are the domestic wastewaters, solids waste and agroindustrial sewage. The quality parameters indicates a moderate quality decreases in the lowland basin, where is the District of irrigations of Zapotitán and urban areas. The water is not used for human consumption. It show high levels of conductivity, dissolved solids and chlorine. The discharge of industrial source increased the suspendes solids in Canal Chuchucato, the water showed hihg hardness and chlorine in some sectors. The macroinvertebrate community was composed by 57 species belong to 9 orders. The Sector of San José Los Sitios (E03) showed the high diversity (H') of 2.96 ± 0.68 while the lowest average was 1.46 ± 0.69 in the lowplains sectors. The more diverse groups was Odonata, Ephemeroptera, Hemiptera and Coleoptera. While the chemical index assigned a regular levels of quality of the most of stations the Hellawell index distinguished between the sectors of the River and assigned a better rank to the high and medium zone. Better water quality, available food and low disturbance and impact could be critical factores to let a increased and more diversity acuatic organism. The preliminar plancton samples determinated species related with organic contamination like *Lyngbia birgei*, *Euglena acus*, *Navicula radiosa*, *Cladophora* sp., the causers of unpleasant odor like *Spirogyra majuscula*, *Synedra ulna* and *Tabellaria* sp., and the

clean water indicators *Cocconeis sp.* and *Cymbella cistula*. The zooplankton was scarce and was composed by protozoans, rotifers and helminths cyst its indicator of organic pollutions and deficient sanitations conditions.

LISTA DE CUADROS

ARTICULO 1

CUADRO No.		PAG.
Cuadro 1	Características de las sub - cuencas y tributarios del Río Talnique	47
Cuadro 2	Municipios y número de habitantes de la cuenca del Río Talnique	49
Cuadro 3	superficie urbanizada por municipios en el período 1978-1996-1999	49
Cuadro 4	Uso potencial de la tierra en los municipios principales y aledaños a la cuenca del Río Talnique (porcentaje y Área en km ²).	51
Cuadro 5	Cultivos principales en los caseríos de los municipios De la cuenca del Río Talnique, La Libertad.	52
Cuadro 6	Actividades en principales cultivos agrícolas de la zona de la cuenca del Río Talnique, La Libertad.	53
Cuadro 7	Reportes de agroindustriales que aportan vertidos a las cuencas del Río Talnique, Ateos y Chuchucato.	54
Cuadro 8	Caudal estimado (m ³ .día ⁻¹) de descarga de aguas Negras de los municipios de la cuenca del Río Talnique, La Libertad.	55
Cuadro 9	Ubicación de los sitios de estudio para la evaluación de calidad de agua en la cuenca del Río Talnique, La Libertad.	56
Cuadro 10	Análisis químico de laboratorio efectuados en muestras De agua del Río Talnique y tributarios.	58
Cuadro 11	Parámetros físico –químicos de tributarios de la cuenca del Río Talnique (promedio ± desviación estándar) marzo – junio del 2001	62

Cuadro 12	Ambito de Valores de Coliformes Fecales y Totales en Estaciones del Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.	66
Cuadro 13	Caudal ($m^3.s^{-1}$) y Velocidad (ms^{-1}) en los drenajes de los tributarios del Río Talnique, marzo – junio del 2001.	69
Cuadro 14	Carga de materiales biodegradables (Demanda Biológica de Oxígeno, DBO_5), Nitratos y Fósforo Total en $kg.día^{-1}$, en estaciones sobre el canal principal y tributarios, marzo – junio del 2001.	71
Cuadro 15	Correlaciones simples entre variables de calidad físico – Química, velocidad y caudal de las corrientes en canal Principal del Río Talnique, La Libertad.	72
Cuadro 16	Coefficiente de la correlación canónica entre variables de naturaleza físico – química con las mediciones de Caudal, velocidad, y mes de muestreo.	73
Cuadro 17	Clasificación para las aguas del Río Talnique según los valores Dureza (como mg/l de $CaCO_3$).	80
Cuadro 18	Clasificación de tramos del Río Talnique según valores de DBO_5 , marzo – junio del 2001 (Sistemas de Mersey River Board).	88
Cuadro 19	Clasificación de las aguas según los niveles de sólidos Disueltos.	96
Cuadro 20	Clasificación del riesgo de salinización por la presencia de sólidos disueltos en los sectores del Río Talnique.	98
Cuadro 21	Estimación de la contribución en sedimentos disueltos y Suspendidos en las subcuencas del Río Talnique Marzo – junio del 2001.	100

LISTA DE FIGURAS

ARTICULO 1

FIGURA No.		PAG.
Figura 1	Ubicación del río Talnique y delimitación de su cuenca	48
Figura 2	Estaciones de medición en Río Talnique y Tributarios.	57
Figura 3	Valores mínimos, máximo, promedio y desviación estándar de los Parámetros físico-químicos: Potencial de Hidrógeno, Oxígeno Disuelto, Temperatura y Conductividad eléctrica en el cauce principal del Río, marzo – junio del 2001.	61
Figura 4	Mapa de parámetros convencionales: Oxígeno Disuelto (mg/l) y Nitrógeno Amoniacal (mg/l, NH ₄)	63
Figura 5	Promedio y Desviación estándar de los parámetros de calidad en la cuenca del Río Talnique y Tributarios, marzo -- junio del 2001.	64
Figura 6	Valores mínimo, máximo y promedio de velocidad de la corriente (ms ⁻¹), b) valores mensuales de caudal (m ³ s ⁻¹) en estaciones del canal principal del Río Talnique, marzo – junio del 2001.	68
Figura 7	Lluvia diaria de marzo a junio de 2001. Estación Finca Montenegro, municipio de Jayaque.	74
Figura 8	Coliformes fecales (NMP/100 ml) en Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.	85
Figura 9	Mapa de densidad poblacional y presencia de coliformes fecales	86
Figura 10	Comparación en el comportamiento de las medias de los parámetros: Oxígeno Disuelto(OD), Demanda Biológica de Oxígeno(DBO ₅), Nitrato(NO ₃), Fosfato(PO ₄) y Nitrógeno Amoniacal (NH ₄) sobre el cauce principal del Río Talnique, marzo – junio del 2001.	90
Figura 11	Variación del Nitrógeno Amoniacal en cauce principal del Río Talnique (12,7 km), entre marzo y junio del 2001.	91

LISTA DE FIGURAS

ARTICULO 1

FIGURA No.		PAG.
Figura 12	Carga promedio de Nitratos, Demanda Biológica de Oxígeno, y Fósforo total (kg. día^{-1}) en cauce principal del Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.	93
Figura 13	Aporte de contaminantes provenientes de las subcuencas de Chavarría, Niágara, Ateos y Chuchucato, marzo – junio del 2001.	94
Figura 14	Aporte de Sólidos Suspendidos, Cloruros y Sólidos Disueltos en kg. día^{-1} proveniente de las subcuencas Chavarría, Niágara, Ateos y Chuchucato, marzo – junio del 2001.	97

LISTA DE CUADROS

ARTICULO 2

CUADRO No.		PAG.
Cuadro 1	Zonas climáticas en las cuencas del Río Talnique	112
Cuadro 2	Ubicación es zonas de estudio y descripción de estaciones de medición en cuenca del Río Talnique	113
Cuadro 3	Valores críticos y subíndices de aptitud según función del índice general de calidad (ICA)	116
Cuadro 4	Parámetros de calidad de agua en Río Talnique durante el período de marzo a junio de 2001.	118
Cuadro 5	Valores del índice general de calidad (ICA) para el Río Talnique, La Libertad.	119
Cuadro 6	Índice de diversidad de especies de macroinvertebrados acuáticos colectados en Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.	121
Cuadro 7	Caracterización de los grupos acuáticos más frecuentes encontrados en las aguas del Río Talnique, marzo – junio del 2001.	124
Cuadro 8	Organismos del Fitoplancton determinados en las aguas del Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.	126
Cuadro 9	Ocurrencia de especímenes de zooplancton en las estaciones de colecta del Río Talnique y tributarios.	127
Cuadro 10	Comparación de la variación entre el índice de calidad física química con la diversidad de macroinvertebrados y el índice de contaminación de Hellawell en las estaciones del Río Talnique y tributarios, marzo a junio de 2001.	137

LISTA DE FIGURAS

ARTICULO 2

FIGURA No.		PAG.
Figura 1	Cuenca del río Talnique y estaciones de muestreo	114
Figura 2	Número de familias y especies de macroinvertebrados en estaciones del canal principal del río Talnique y en tributarios: Quebrada Niágara, Río Ateos y Canal Chuchucato, marzo – junio del 2001.	123
Figura 3	Número de organismo de comunidades de macroinvertebrados en estaciones del río Talnique y tributarios, marzo –junio del 2001.	133
Figura 4	Composición de las comunidades de macroinvertebrados en 4 sectores de la cuenca del Río Talnique, marzo –junio del 2001.	134
Figura 5	Variación en los promedios de los índices: Químico (ICA), Hellawell (contaminación) y Diversidad de Especies en estaciones del Río Talnique y tributarios.	138

LISTA DE ANEXOS

ANEXO No.		PAG.
Anexo 1 A	Mapa de permeabilidad y puntos de contaminación en la cuenca del Río Sucio.	148
Anexo 1 B	Población en municipios de la cuenca del Río Talnique, cobertura de agua potable y saneamiento ambiental	149
Anexo 1 C	Cambio en las condiciones del cauce del Río Talnique: sector de San José Los Sitios y Distrito de Zapotitán.	150
Anexo 1 D	Vertidos de desechos sólidos y líquidos a las aguas superficiales del Río Talnique.	151
Anexo 1 E	Usos del agua en la cuenca del Río Talnique: Captación para abastecimiento rural y usos domésticos.	152
Anexo 1 F	Aprovechamiento del agua del canal Chuchucato para riego agrícola.	153
Anexo 1 G	Transporte de sedimento en el Río Talnique.	154
Anexo 1 H	Mapa del Distrito de riego de Zapotitán y fuentes hídricas superficiales.	155
Anexo 1 I	Mapa de rangos de elevación en la cuenca del Río Talnique.	156
Anexo 1 J	Mapa de pendientes (%) de la cuenca del Río Talnique.	157
Anexo 2 A	Datos hidrométricos de las corrientes del Río Talnique y Tributarios, marzo – junio del 2001.	158
Anexo 2 B	Valores de parámetros de calidad del agua en el Río Talnique y Tributarios, marzo – junio del 2001.	159
Anexo 2 C	Cuadro resumen de carga de Nutrientes y Compuestos en Río Talnique y Tributarios, marzo – junio del 2001.	162
Anexo 2 D	Calculo del Índice General de Calidad de Agua (ICA)	164
Anexo 3 A	Lista general de los macroinvertebrados presentes en Río Talnique y Tributarios.	166

Capítulo I. Introducción

Introducción

La importancia de conservar los recursos hídricos superficiales y subterráneos, estratégicos para el desarrollo agrícola y socioeconómico, constituye una tarea impostergable para países como El Salvador, donde se necesita comprender la magnitud del estado de degradación ambiental para emprender acciones que reviertan o disminuyan el impacto (Barry 1994). Estudios revelan que la disponibilidad en recursos hídricos en El Salvador es alta debido a su condición topográfica y el régimen local de lluvias, pero cuando se analiza el problema de calidad, regionalidad, acceso y demanda futura del agua, el panorama se vuelve más complejo. La degradación ambiental se genera por el estilo de desarrollo existente, lo que amenaza la capacidad de renovación del agua y el abastecimiento de la población (Barry 1994).

La ausencia y poca aplicación de los planes locales para el desarrollo de la zona conocida como Valle de San Andrés, que comprende áreas de los municipios de Colón, Sacacoyo, Tepecoyo, Jayaque, entre otros, ha llevado a una fuerte presión sobre los recursos hídricos y contaminación ambiental afectando las abundantes fuentes de agua. En la zona del Río Sucio, por ejemplo, se ubica cerca de 33 % de las industrias localizadas en la cuenca del Lempa. Datos preliminares indican que en esta importante fuente (R. Sucio) el nivel de oxígeno disuelto se encuentra en condiciones desfavorables, así como el nivel de turbidez (cantidad de sólidos suspendidos) y coliformes los cuales superan la norma salvadoreña establecida para agua potable (PAES 1998). Contrariamente para la población rural, el acceso al suministro de agua es menos confiable y las condiciones de saneamiento ambiental son más críticas; además, poco o ningún tratamiento se les proporciona a las aguas servidas antes de su liberación en ríos y quebradas (Michaels *et al.* 1998). El impacto por desagües de alcantarillas, beneficios de café, ingenios azucareros, rastros y curtiembres, etc., contribuye a la problemática de la degradación de los ecosistemas acuáticos superficiales.

Las fuentes no puntuales de contaminación derivadas de la fertilización con compuestos nitrogenados y aplicación de agroquímicos y las deficientes condiciones de saneamiento ambiental son factores críticos que también degradan la calidad del agua (PRISMA 1998). La agricultura bajo riego no solamente consume grandes cantidades de los recursos hídricos sino que debido a problemas de ineficiencia en la distribución y aplicación, los efluentes que retornan a los recursos superficiales o subterráneos contienen grandes cantidades de sales, nutrientes y productos agro-químicos (Andreoli 1993).

La cuenca en estudio se encuentra en el Valle de Zapotitán, departamento de La Libertad, esta zona del país constituye uno de los principales acuíferos estratégicos para el abastecimiento de agua de importantes zonas urbanas y rurales. La parte baja de la cuenca posee suelos apropiados para agricultura intensiva y bajo riego, para este fin, las aguas del Río Talnique son canalizadas para abastecer a fincas de caña de azúcar, arroz, maíz y hortalizas en la zona de influencia del Distrito de Zapotitán.

Actualmente el Programa Ambiental de El Salvador (PAES), ejecuta un monitoreo de calidad y cantidad de agua en 3 principales subcuencas: Sucio, Acelhuate y Suquiapa, comprendidos en la denominada cuenca alta del Río Lempa. Las actividades comprenden el registro de la calidad físico-química y bacteriológica siguiendo procedimientos para determinar áreas críticas de contaminación y desarrollar herramientas para la interpretación ambiental. Bajo este programa se realizó el presente estudio en la cuenca del Río Talnique, tributario del Río Sucio, para conocer las características de la calidad de agua, en los drenajes de las subcuencas y el cauce principal, y la dinámica del proceso de autodepuración de las corrientes en el período seco. El estudio utilizó mediciones biológicas como macroinvertebrados acuáticos como una herramienta complementaria para conocer el estado de calidad del agua y de los ambientes acuáticos.

De esta forma se comparan ambientes del río relativamente estables, el sector superior con un nivel mayor de cobertura vegetal favorecido por las plantaciones de café bajo sombra, con sectores con mayor impacto por las actividades antropógenicas y contaminación de industrias, cuando la presión por el agua se incrementa en las áreas de

producción agrícola del distrito de Zapotitán. Se espera contribuir en la discusión de los problemas del agua y en la búsqueda de alternativas para la mitigación de la contaminación por parte de los usuarios, autoridades locales, agencias gubernamentales y demás responsables de la gestión ambiental en el país.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la relación entre el uso de la tierra y la calidad del agua en la cuenca del Río Talnique por medio de la determinación de variables convencionales de calidad físico-química y biológica.

1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar el estado preliminar de calidad de agua en los drenajes principales y el cauce del Río Talnique, mediante la determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y biológicos, y su relación con las actividades humanas y condiciones de saneamiento en el Río.

Comparar la información físico - química con los índices de naturaleza biótica como diversidad de especies y el índice de Hellawel aplicado a los macroinvertebrados acuáticos para la discriminación del estado de calidad del agua y del medio.

1.2 Hipótesis

- La calidad del agua superficial está en función de la presión de uso de la tierra en la Subcuenca del Río Talnique.
- La capacidad de autodepuración del río Talnique, es inferior a la descarga de la contaminación lo cual afecta el aprovechamiento su uso potencial .

La presentación de la información colectada y los análisis se han dispuesto en capítulos, para el caso el segundo capítulo incluye la revisión de literatura relevante a la

investigación efectuada, se aborda lo referente a los impactos de la agricultura sobre la calidad del agua, los procedimientos de evaluación de la calidad y la aplicación de índices de calidad química y uso de organismos acuáticos como herramienta para la determinación de contaminación.

En el tercer capítulo se describe el estado preliminar de la contaminación en las principales subcuencas del Río Talnique, y las mediciones de calidad por medio de parámetros químicos convencionales en ocho estaciones de monitoreo o control. Se detectaron condiciones de calidad desfavorables en los sectores inferiores de la corriente principal y en drenajes asociados con la contaminación urbana e industrial. El efecto de la precipitación alteró el estado del agua, sobre todo en el aumento de materiales en suspensión y la carga orgánica y de nutrientes en algunos drenajes de cuencas.

El cuarto capítulo describe la aplicación de un índice general de calidad físico-química, que incluye nueve variables y resume la información de calidad, además se compara con la información biológica de las comunidades de macroinvertebrados colectados en los sectores del río.

Se aplicó el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice biótico de Hellawell a las familias de macroinvertebrados, este último procedimiento describe el nivel de contaminación de las aguas según el tipo de organismo presente en las corrientes, con esto se logra una mayor diferenciación del estado de conservación de los ambientes y se complementa con la información química sobre el estado de las corrientes.

1.3 Literatura citada

Barry, D. 1994. El Agua: límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador, PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigaciones sobre Desarrollo y Medio Ambiente) 5:1-13.

CEDEX (Centro de Estudios Hidrográficos, ES). 1999. Metodología para la elaboración de un plan de desarrollo agrario en la República de El Salvador: deterioro ambiental, vulnerabilidad, pérdida de recursos naturales. AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional) 71p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. (Informes sobre Temas hídricos No. 1)
- INYPSA (Informes y Proyectos, SV). 2000. Plan de desarrollo territorial para el Valle de San Andrés. Síntesis de Informe final VMVDU (ViceMinisterio de Vivienda y Desarrollo Urbano, SV) / FOSEP (Fondo Salvadoreño para estudios de Pre-Inversión) 96 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional "Ing. Pablo Arnoldo Guzmán", SV). 1980. Hoja Cartográfica 2357 Zapotitán, Esc. 1:25 000.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional "Ing. Pablo Arnoldo Guzmán", SV). 1997. Diccionario Geográfico. Tomo II. 1458 p.
- Lobo, J.E. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
- Michaels G; Camacho, R; Platais, G. 1998. Aguas salvadoreñas, capital de trabajo para la nación. PROMESA (Proyecto Protección del Medio Ambiente, SV) GOES/USAID 519-0385 55 p.
- Monterrosa, U. A, J. 1993. Caracterización de algas, protozoos e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del río Chagüite (afluente del Lago de Ilopango), El Salvador.. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad de El Salvador 259 p.
- PAES (Programa Ambiental de El Salvador). 2000. Análisis de resultados del monitoreo preliminar de contaminación de las subcuencas de los ríos sucio, Suquiapa y Acelhuate. Subcomponente de Monitoreo de Recursos hídricos. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV) / DGRNR (Dirección General de Recursos naturales Renovables, SV). 64 p.
- PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente). 1998. Nuevas institucionalidades para el desarrollo sostenible en El Salvador: los casos de Nueva Concepción, Zacamil y Zapotitán. P. 52-74 (Publicación Especial)
- Whiles, MR; Brock, BL; Franzen, AC; Dinsmore, II. S.C. 2000. Stream invertebrate communities, water quality, and land use patterns in an agricultural drainage basin of Northeastern Nebraska, USA. *Environmental Management* 26 (5): 563-576.
- Westcot. DW. 1997. Quality control of wastewater for irrigated crop production. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 49 p. (Water Report no. 10)

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Elementos morfológicos de los sistemas fluviales naturales

Los ríos son sistemas lineales que sirven para evacuar hacia los océanos el agua caída sobre las masas continentales (Welcome 1992), el tamaño y la formación geológica de las cuencas determinan el régimen de los flujos (IHD-WHO 1978), así puede distinguirse entre i) ríos de embalse, que tienen amplios lagos, ciénagas o llanuras inundables cerca de sus cabeceras, lo que origina un flujo constante y gradual con pequeñas variaciones de caudal; y ii) ríos de crecida, en los que el nivel del agua fluctúa anualmente entre extremos desde grandes inundaciones a la desecación total, en algunos casos en la estación seca (Welcome 1992)

El patrón hidráulico está determinado por la variación del flujo de las corrientes la que a su vez influye la calidad del agua del río, por ejemplo, las pequeñas cuencas presentan bajas descargas medias con eventos extremos de flujos, mientras, las grandes cuencas presentan flujos más uniformes (IHD-WHO 1978). Para el manejo de los problemas de calidad del agua, como las descargas de desechos hacia las corrientes, las condiciones de flujos bajos o mínimos son utilizadas como punto de partida para el diseño de las facilidades de tratamientos (IHD-WHO 1978).

Los estudios ecológicos de los ríos tienden a considerar divisiones de los sistemas fluviales, en vez de considerarlos homogéneos en su conjunto, desde el nacimiento hasta la desembocadura; sin embargo, tales subdivisiones se realizan solo para facilitar el estudio, pues todo sistema fluvial debe tomarse en última instancia como un todo que presenta una gradación de características a lo largo de su curso (Welcome 1992).

En los ríos suele suceder una serie de tipos de corrientes, aquellas con fuerte pendiente cerca de la fuente, hasta las muy lentas en pendientes mínimas cerca de la desembocadura (Welcome, 1992). Illies y Botosaneanu (1963), dividieron el curso del río en dos categorías principales: El rítrón y el potamon, *el rítrón* se define como la región que se extiende desde las fuentes hasta el punto en que las temperaturas medias mensuales

ascienden a 20° C, donde las concentraciones de oxígeno son siempre elevadas, la corriente es rápida y turbulenta y el lecho se compone de rocas, piedras o grava, con espacios ocasionales de arena o limo. El *potamón* es la región en que las temperaturas medias mensuales ascienden a más de 20° C, puede haber deficiencias de oxígeno, la corriente es lenta y el lecho del río se compone sobre todo de arena o cieno.

2.1.1 Orden de las corrientes

Los cauces fluviales en el conjunto de una cuenca poseen una disposición arbórea (Welcome 1992, Mosley y Mckerchar 1992), debido a esto la clasificación de las corrientes ampliamente aceptada las jerarquiza de la siguiente manera: corrientes de primer orden son las que no tienen afluentes; las de segundo orden, están formadas por la unión de dos de primer orden; las de tercer orden, nacen de la unión de otras de segundo orden, y así sucesivamente.

La clasificación original del sistema contemplaba que el cauce principal del río tiene una continuidad desde el nacimiento hasta la desembocadura. Para los estudios ecológicos de los ríos, cada sistema de clasificación tiene sus ventajas. El primero se utiliza cuando se considera la evolución de alguna característica, por ejemplo las capturas de peces, a lo largo de todo el curso del río. La segunda clasificación es más natural y es útil en estudios de tipo general, ya que las corrientes de una categoría determinada tienden a formar series cuyos miembros pueden considerarse conjuntamente (Welcome 1992)

2.2 Procesos físicos y químicos de las corrientes

Entre los procesos físicos y químicos que se verifican en las corrientes se encuentran la velocidad, la composición iónica, el transporte de partículas y nutrientes, principalmente.

Velocidad: Es general la observación que la velocidad disminuye al disminuir la pendiente. Generalmente se obtiene entre 5-6 m.seg⁻¹ en los tramos altos, 3-3,5 m.seg⁻¹ al pie de la montaña y 2-2,5 m.seg⁻¹ en los tramos de llanuras.

Carga sólida: Existe una clara relación entre la velocidad de la corriente de un río y la cantidad de carga sólida que arrastran sus aguas, cuanto más fuerte es la corriente, mayores son la carga y el tamaño de las partículas que puede arrastrar. Este aspecto tiene muchas repercusiones para la morfología del río como para la biología de muchos organismos que viven en él. Morfológicamente los depósitos o sedimentos se recogerán o depositarán al compás de las variaciones de la corriente y de la carga. Así la desaceleración de la corriente lleva a la formación de tierras de aluvión y desarrollo de características morfológicas como diques naturales, bancos y zonas de anegamiento (Welcome 1992)

Composición iónica: La composición química natural de las aguas depende de numerosas variables físicas, químicas y biológicas. Tres mecanismos básicos que controlan la química del agua de superficie son: precipitación, naturaleza de las rocas del lecho y el proceso de evaporación – cristalización (Gibbs 1970, citado por Welcome 1992). En la mayoría de ríos tropicales, la composición iónica del agua depende básicamente de la lluvia y de los sedimentos o rocas sobre los que fluye el agua. Una influencia secundaria es ejercida por las macrófitas y el fitoplancton y en una medida cada vez mayor las diversas actividades humanas, industriales, agrícolas y domésticas (Welcome 1992). La cantidad total de sólidos disueltos (TDS) puede considerarse idónea para conocer la concentración iónica total en el agua (Canter 1998, Calow y Petts 1994, Repetto y Morán 1991, Salas 1987)

Conductividad: La conductividad es otra medida de la suma total de iones presentes en el agua y una medida aproximada para calcular la riqueza química (Seoanez 1999, Welcome 1992, Repetto y Moran 1991, EPA 1976).

Entre los factores que determinan la concentración de sustancias disueltas orgánicas no medidas por la conductividad están: i) efecto de dilución, por lo que el agua de crecida o de lluvias con concentración iónica débil reduce la conductividad; ii) efecto de solución, el efecto "ribera" por lo cual las sales contenidas en tierras secas derivadas de vegetación muerta, excremento, cenizas de plantas, etc. penetran en la solución al extenderse las

aguas de crecida sobre superficies mayores y el efecto de escorrentía; iii) efecto de desagüe, por la influencia de las aguas freáticas ricas en nutrientes la cual es desplazada hacia el cauce del río al aumentar las infiltraciones; iv) concentración por evaporación; y v) absorción por los componentes vivos del sistema, estos efectos producen conductividades más altas en la estación seca que en la húmeda, tanto en las lagunas como en los cauces fluviales (Welcome 1992).

Concentración de iones hidrógeno (pH): Parámetro que indica la acidez o basicidad del agua, definido como el logaritmo natural negativo de la concentración de iones hidrógeno, su valor oscila entre 0 y 14. El agua pura es neutra y el valor de pH es 7. Las aguas naturales oscilan entre 5 y 8,5, los valores ácidos (menores de 7) son típicos de aguas con alto contenido de dióxido de carbono y ácidos húmicos; y aguas por arriba de 7,0 son aguas con elevados contenido de bicarbonatos. Las aguas pluviales causan elevada variación de pH, igualmente las descargas ácidas o alcalinas (Canter 1998, McCutcheon *et al.* 1992, Repetto y Morán 1991, IHD-WHO 1978, Hem 1985, EPA 1976).

Temperatura: Los factores que pueden influir sobre la temperatura del agua son la latitud, altitud, grado de insolación, composición del sustrato, turbidez, vientos y cubierta vegetal. Generalmente, la temperatura del agua en la superficie sigue bastante de cerca la temperatura del aire, aunque cuando el aire es cálido y seco la relación se establece con la temperatura mínima del aire.

El agua de un río rara vez se estratifica térmicamente ya que la turbulencia propia del flujo mantiene la mezcla; las altas temperaturas por su parte incrementan la actividad biológica y esto es crítico para el balance de oxígeno en las aguas contaminadas (Welcome 1992, IHD-WHO 1978).

Oxígeno Disuelto. La distribución del oxígeno disuelto dentro del sistema acuático es uno de los principales factores que determinan la distribución de peces y otros organismos. En el río las aguas suelen estar bien oxigenadas debido a la turbulencia del flujo en los fondos pedregosos (Welcome 1992)

Durante la época de crecidas los altos niveles de oxígeno se deben principalmente a la acción del viento y la mezcla producida por las turbulencias. Durante la estación seca, las soluciones de oxígeno dependen de una serie de factores tales como el volumen de la masa hídrica, la demanda biológica de oxígeno de los detritos orgánicos y los contaminantes y el grado de estratificación térmica (Welcome 1992).

Cuando la materia orgánica se descompone causa un consumo de oxígeno debido a la respiración microbiológica. Si este consumo es mayor que el rango de transferencia de oxígeno de la atmósfera existe un déficit de oxígeno en la corriente. En algunos casos se han registrado mortandades de peces asociadas a descenso en los niveles de oxígeno y contaminación por H₂S hasta niveles letales. (Canter 1998, Welcome 1992, IHD-WHO 1978).

En tramos menores de las corrientes la concentración de oxígeno depende de la actividad fotosintética por lo cual se experimentan mayores cambios diurnos. La actividad fotosintética eleva el contenido de oxígeno del agua durante el día cerca de la superficie, pero el oxígeno es retirado del agua por acción de las plantas y de la demanda bioquímica de oxígeno, causada por el limo y los sólidos orgánicos en suspensión, por lo que el nivel de oxígeno desciende durante la noche (Welcome 1998, Branco, 1984, Ingram *et al.* 1966)

Las capas de vegetación flotante son una característica muy común de los ríos tropicales y sus efectos son análogos cualquiera que sea la especie que constituye la capa. El efecto general de la capa flotante es reducir las concentraciones de oxígeno disuelto hasta cero, coincidiendo con la producción y liberación de H₂S (Beadle 1974, citado por Welcome 1992)

2.3 Rangos naturales de constituyentes de las aguas

Muchos de los componentes y elementos que constituyen las aguas naturales presentan rangos de valores característicos de ambientes libres de impactos antropogénicos y cuyos cambios se deben fundamentalmente a alteraciones climáticas, fuentes naturales,

procesos geoquímicos, entre otros (López 1998). Algunos rangos naturales propuestos, para algunos compuestos de importancia para los usos humanos son los siguientes:

Tabla .1 Fuentes y rango natural de la concentración de elementos en aguas dulces no contaminadas.

Elemento	Concentración mg/L	Fuente
Cloruro	1.77 – 70.8	Sales de rocas, atmósfera
Sulfato	0.9 – 480.3	Atmósfera
Nitrato NO_3^-	0.06 – 12.4	Atmósfera, materia orgánica
Fosfato PO_4^-	0 – 1.89	Materia orgánica, Fosfatos

Fuente: Tomado de López (1998)

2.4 Problemas de calidad del agua

Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración límite impida los usos benéficos del agua (Sagardoy 1993). En la mayoría de países, los recursos hídricos son manejados de una forma muy disgregada, es decir cada uno de los sectores como agricultura, producción hidroeléctrica, abastecimiento doméstico, industria, etc., planifica, desarrolla y administra la parte del recurso hídrico necesaria para su uso (Sagardoy 1993). A raíz de las demandas por agua, los problemas de calidad se han multiplicado debido al aumento de cargas contaminantes, esta situación ha estimulado la necesidad de abordar los problemas y posibles soluciones con enfoques integrales, por lo menos al nivel de cuenca. Por ejemplo, un problema de calidad puede ser provocado por un sector como las aguas servidas de los municipios y afectar la actividad agrícola y en el caso de las aguas subterráneas varios usuarios pueden contaminar simultáneamente la misma masa de agua (Canter 1998, Andreoli 1993, Sagardoy 1993)

2.4.1 Impactos de la contaminación del agua por actividades agrícolas

La actividad agrícola puede contribuir con tres tipos de contaminantes: sólidos en suspensión; organismos vivos y componentes químicos. Los sólidos en suspensión provienen de los procesos de malas prácticas agrícolas que acentúan la erosión de los suelos, tales como arado, labranza, deforestación, sobrepastoreo, entre otras. Los elementos químicos provienen de la fertilización, la aplicación de plaguicidas y las aguas de riego, algunos de estos elementos pueden fijarse en el suelo, dependiendo de su concentración pueden constituir un serio problema para su uso posterior. Finalmente, los residuos de muchas agroindustrias y algunos procesos de cosecha también pueden aportar una cantidad considerable de materia orgánica que afecta la calidad y el riego con aguas servidas no tratadas actúa como diseminador de organismos patógenos (Sagardoy 1993).

2.4.1.1 Efecto de los contaminantes agrícolas

Sagardoy (1993) explica que existe una correlación entre la intensidad de la producción y el posible efecto sobre los recursos hídricos: el uso de aguas servidas crudas para riego o aguas muy contaminadas puede propagar enfermedades, además provoca la pérdida de confianza de los consumidores en los productos agrícolas provenientes de dichas zonas.

Los proyectos de riego en las zonas áridas generalmente están afectados por problemas de salinización y encharcamiento de los suelos, lo que reduce considerablemente la producción potencial (Sagardoy 1993). Uno de los aspectos más complejos se refiere a la contaminación por uso de plaguicidas y fertilizantes, por su efecto a largo plazo, su acumulación en los suelos y persistencia en el tiempo (Andreoli 1993, Sagardoy 1993).

Andreoli (1993) cita los impactos de la agricultura intensiva principalmente las pérdidas de suelo ocasionados por el uso de prácticas intensivas e inadecuadas de preparación de suelos, la quema de rastrojos, ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas provoca la formación de cárcavas, remoción de capas fértiles, degradación física de los suelos y la colmatación de las zanjas de drenaje.

2.4.1.2 Producción de sedimentos

Andreoli (1993) señala que los contaminantes químicos, incluyendo los agrotóxicos e insumos agrícolas como nitrógeno y fosfatos están asociados a los sedimentos. La erosión y el transporte de sedimentos en el paisaje y en los ríos son las principales formas de transporte de contaminantes en el medio ambiente. Los contaminantes absorbidos son transportados principalmente en las partículas finas, estableciendo una asociación de problemas causados directamente por los sedimentos, entre ellos el aumento en la turbidez.

El transporte y la sedimentación están influenciados principalmente por el tamaño y densidad de las partículas, siendo que las partículas mayores y más pesadas, sedimentan más rápidamente y más próximas a su origen (Andreoli 1993). Las partículas componentes del suelo, arena, limo arcilla, a través de su propia actividad química asociada a agentes cementantes, se organizan formando agregados (Young 1980, citado por Andreoli 1993)

Los datos citados por Andreoli (1993) en estudios de sedimentación a través de mediciones de caudal fluvial y carga de sedimentación alcanzan valores de hasta 12 533 969 ton.año⁻¹ de suelo erosionado. Las variaciones en la cantidad de los sedimentos producidos por una cuenca están relacionadas con la erosividad, erodabilidad, el largo y el declive de la pendiente, el uso del suelo (cubierta) y los sistemas de conservación, la depositación y el arrastre de estos materiales en los lechos de los ríos (Andreoli 1993).

Datos recabados por Carvalho (1992) citado por Andreoli (1993) sobre las descargas sólidas de la cuenca del Río Paraná señalan cantidades hasta de 32 425 140 ton.año⁻¹ de sólidos totales transportados, este mismo autor reporta una relación entre la época de preparación de la tierra con la descarga de sedimentos, pues las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua en el sistema de represas en la cuenca presentan sus más elevados índices en la época de reparación y siembra.

2.4.2 Eutroficación

Es un proceso de desequilibrio o alteración de los ecosistemas naturales provocado por la introducción de elementos nutrientes en concentraciones anormales (Branco 1984, Campbell 1987, Hem 1985, Peterjon y Correll 1983, IHD-WHO 1978). Campbell (1987) indica que la eutroficación es un proceso natural, pero que puede estar asociado con la contaminación por aguas negras y escurrimiento de fertilizantes agrícolas que contengan fósforo y nitrógeno, cuyas sales inorgánicas desempeñan un papel particular para los ecosistemas acuáticos. En general ocurre cuando una masa de agua pasa de una condición oligotrófica (o baja productividad) a eutrófica o de elevada productividad. Los problemas asociados con la eutroficación pueden ser de orden práctico, como los inconvenientes vinculados a la calidad del agua potable (sabor y color derivado de la excesiva presencia de algas) o a su tratamiento (obstrucción de filtros, variaciones de pH, etc.) (Canter 1998, Campbell 1987).

2.4.3 Sedimentos y Turbidez

Los sólidos suspendidos y la turbidez constituyen medidas de la materia orgánica e inorgánica particulada, ambos constituyen parámetros muy útiles en los monitoreos de aguas para abastecimiento humano e industrial (EPA 1976, Repetto y Moran 1999, PAES 1998); además, su análisis es crítico para el proceso de erosión y sedimentación de los cuerpos hídricos (EPA 1999).

Los sólidos suspendidos se refieren a la fracción de la descarga de los sedimentos suspendidos en la columna de agua, constituyen partículas menores de 0.1 mm de diámetro, aquellas mayores de 1 mm frecuentemente son depositadas en el fondo de las corrientes y transportadas como carga del fondo, aquellas entre 0.1 y 1. mm pueden ser transportadas tanto como partículas en suspensión o sedimentadas, según las condiciones hidráulicas (EPA 1999).

La turbidez interviene en la transparencia del agua ya que la presencia de partículas en suspensión refleja las radiaciones luminosas en todas las direcciones. Los desechos

domésticos y orgánicos industriales contienen altas concentraciones de pigmentos coloidales, amarillentos de composición idéntica o semejante a los que existen en la materia húmica de los suelos (Branco 1984). El transporte natural de sedimentos por los ríos depende de varios factores, entre los cuales se destacan la capacidad de erosión del suelo, que a su vez depende de la cobertura arbórea, características del suelo y la velocidad del caudal de los ríos (Welcome 1992).

2.4.4 Materia orgánica: Demanda Biológica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)

Los agentes causantes de la contaminación en un río o lago pueden ser de naturaleza orgánica biodegradable, orgánica no biodegradable e inorgánicas (Branco 1990). La biodegradación, como proceso natural en todos los ambientes, no solo es ventajosa al eliminar compuestos nocivos, sino también por el reciclaje de los nutrientes; sin embargo la descomposición a gran escala, como sucede en lugares en donde se acumula compuestos biodegradables también causa desequilibrios en el sistema acuático tales como el consumo excesivo de oxígeno y a la formación de grandes cantidades de subproductos de la biodegradación (Campbell 1987, Branco 1984).

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) constituye una de las medidas más importantes para medir el posible consumo de oxígeno provocado por una carga orgánica biodegradable, y permite evaluar el efecto general que pudiera estar generando sobre los ecosistemas acuáticos (Branco 1984, Seoanez 1999). Los 5 días de prueba e incubación del análisis representa cerca de un 75% del consumo total y la tasa de consumo de oxígeno para los siguientes días se reduce notablemente. En condiciones reales el oxígeno está siendo continuamente introducido del aire atmosférico (Branco 1984).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Otro análisis que complementa la lectura de la DBO_5 en cuanto a la fuerza de la contaminación es la Demanda Química de Oxígeno o DQO, con la cual se determinan los niveles de consumo de oxígeno por la oxidación de compuestos generalmente no oxidables en el proceso biológico como detergentes, compuestos inorgánicos, o de degradación lenta (Branco 1984).

El valor de consumo de oxígeno de la DQO es superior al del ensayo de DBO_5 , para los desechos orgánicos puros, la relación $DBO: DQO$ es casi igual a 1, pero con el uso creciente de compuestos orgánicos no biodegradables como los detergentes, insecticidas, plásticos, etc., esta relación sigue aumentando progresivamente en los desagües de alcantarillas municipales, hasta alcanzar valores mayores a 1: 3 (Branco 1984)

2.4.5 Otras fuentes de contaminación

Contaminación de origen doméstico

Las sustancias presentes en el excremento humano son una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltas en solución acuosa. Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los productos provenientes de su descomposición, detergentes, aceites minerales, y otros desperdicios de origen animal. Si un agua de origen doméstico contamina agua destinadas a uso potable, puede transmitir su carga de bacterias y virus eventualmente presentes y causar enfermedades (Repetto y Morán 1991)

Contaminación de origen industrial

Los contaminantes contenidos en aguas de origen industrial son innumerables dependiendo del tipo de producción, en general la contaminación puede ser debida a materia inorgánica que se encuentra en suspensión y en solución, y también a sustancias orgánicas como los desechos químicos, fenólicos, orgánicos fermentables y desechos tóxicos. Los detergentes contenidos en las aguas naturales provienen en su mayoría de descargas industriales (Repetto y Morán 1991)

2.5 Aspectos biológicos de la contaminación

La contaminación se caracteriza por ser un proceso altamente selectivo, cada elemento contaminante ya sea de acción física o química, ejerce un efecto específico. Este consiste en eliminar especies o variedades sensibles al agente contaminante específico, y asegurar la supervivencia de las formas más resistentes, lo que resulta en la "adaptación" del ecosistema a las nuevas condiciones ambientales. El número de especies supervivientes será menor que en el caso del ecosistema original, pero el crecimiento

será grande por que no tienen que competir por el alimento disponible, esto lleva al concepto de índice de diversidad (Canter 1998, Branco 1984, Calow y Petts 1994).

El oxígeno disuelto es un elemento de selección natural ya que algunos organismos poseen un comportamiento anfótero ante la presencia o ausencia de oxígeno pudiendo respirar como aeróbios o anaeróbios. Muchos organismos aeróbicos se adaptan a muy bajas concentraciones de oxígeno. Los dípteros son capaces de vivir en aguas muy contaminadas provenientes de descargas municipales, en dónde forman poblaciones muy densas no encontradas en ambientes acuáticos ricos en oxígeno. En este caso la proliferación de dípteros esta favorecida por la ausencia de depredadores (peces e invertebrados), los cuales en ambientes aireados estarían limitando el desarrollo de sus poblaciones (Branco 1984)

La elevación de la temperatura del agua es otro factor crítico que puede provocar una demanda térmica de oxígeno, reduciendo considerablemente su concentración, por este motivo, las especies de peces y de invertebrados acuáticos más exigentes respecto a la disponibilidad de oxígeno no se desarrollan plenamente.

La disponibilidad de alimentos para los organismos acuáticos es otro mecanismo de selección natural, por ejemplo las aguas municipales, con alta carga de materia orgánica particulada, puede permitir el desarrollo de densas poblaciones de animales, incluso peces, en áreas donde las concentraciones de oxígeno no se hayan reducido considerablemente.

El pH es un factor muy selectivo, la mayor parte de los organismos acuáticos viven de preferencia en aguas con pH entre 6 y 8. La mayoría de peces soportan condiciones en este mismo rango de pH. La contaminación causada por desagües ácidos, como los provenientes de zonas mineras, suele contener metales en solución, lo que se suma al efecto del pH (Welcome 1992, Branco 1984, Norma Mexicana 1996, Campbell 1987, EPA 1976, Calow y Petts 1994)

La salinidad de las aguas puede ejercer un efecto selectivo al dificultar la absorción de agua por parte de los organismos o incluso por la pérdida de agua a través de sus células.

En general los organismos no adaptados a los ambientes de elevada salinidad y que, por lo tanto, no disponen de mecanismos capaces de resistir la pérdida de agua por las superficies, se deshidratan en presencia de aguas saladas. La contaminación salina con intenso efecto selectivo, es provocada por la actividad minera, lavado y secado de cloruros de sodio por actividades domésticas, industrias de alimento en conserva como carnes y pescado (Branco 1984).

Otro efecto limitante provocado por la contaminación es el enterramiento de los organismos bénticos debido a la sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas, lo que repercute en la ecología de los cuerpos hídricos (EPA 1999, Welcome 1992). La sedimentación de materia particulada en el fondo puede tener diversos efectos: la asfixia de los organismos bénticos y la menor circulación de oxígeno, además del efecto de fricción, aquellos organismos que no disponen de mecanismos eficaces para evitar ser soterrados o poseen sus órganos respiratorios obstruidos son más sensibles a este tipo de disturbio. Las causas de la sedimentación son el dragado mecánico, explotación de arenas, lanzamiento de efluentes de industrias que contienen materiales particulados, los desechos municipales y escorrentías superficiales (Branco 1984)

2.6 Autodepuración de las aguas contaminadas

Las corrientes superficiales poseen mecanismos que les permite recuperar algunas condiciones físico químicas luego de haber sido disturbadas, en los ríos, los materiales incorporados se diluyen ya que se dispersan progresivamente en el agua sobre todo al aumento del caudal a medida que se reciben nuevos afluentes. Este proceso es importante pues reduce la concentración de compuestos tóxicos que no están sujetos a descomposición y a la alteración en su naturaleza química (IHD-WHO 1978, Branco 1984, Elosegui *et al.* 1995, Rinaldi *et al.* 1979)

Este concepto implica que la contaminación constituye la incorporación de elementos y compuestos extraños a la naturaleza del río, lago o ecosistema acuático y la depuración

sería la eliminación de estos compuestos extraños; si este proceso se efectúa con recursos propios del sistema, incluyendo la metabolización de compuestos biodegradables (Branco 1984, Rinaldi *et al.* 1979). La autodepuración debe entenderse como la sucesión de etapas ecológicas que van desde la incorporación de los desechos hasta la recuperación de las características originales del ambiente acuático (Branco 1984).

2.6.1 Factores involucrados en la autodepuración de las aguas

Los factores físico, químicos y biológicos que intervienen simultáneamente o alternativamente en el proceso de estabilización a lo largo de un curso de agua reportados por Branco (1969, citado por Branco, 1984) y Rinaldi *et al.* (1979) son los siguientes:

- a) **Dilución:** aunque este proceso no altera la naturaleza química de los compuestos si ejerce una acción ecológica pues dispersa y reduce la concentración de los compuestos nocivos y disminuye la demanda biológica de oxígeno.
- b) **Gravedad:** La sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas en una masa de agua contaminada representa un factor significativo en la reducción de la contaminación. El aumento de transparencia que provoca la sedimentación hace posible la remoción de importante proporción de la DBO de la masa del agua. Los materiales sedimentables representa cerca del 40% de demanda de oxígeno de las aguas domésticas. La sedimentación y formación de depósitos de lodo orgánicos ocurre cuando la velocidad de agua es inferior a 0.2 ms^{-1} ; sin embargo, cuando la velocidad varía entre 0.3 y 0.5 ms^{-1} el lodo depositado es arrastrado por las aguas.
- c) **Turbulencia:** El grado de agitación del agua debido a su velocidad, accidentes del terreno y la acción de los vientos, constituyen importantes factores de oxigenación del medio. Los ríos que presentan caídas y resaltos suelen ser más oxigenados y

tienden a depurarse con más rapidez debido a la transferencia de oxígeno del aire hacia el medio acuático, que los de baja velocidad o ambientes lénticos, sin embargo, la turbulencia puede provocar la elevación y mezcla de los sedimentos orgánicos, elevando la demanda de oxígeno.

- d) **Luz:** Las radiaciones solares ejercen una acción bactericida importante; ejercen una acción directa sobre la capacidad fotosintética y la consiguiente producción de oxígeno por el fitoplancton y malezas acuáticas, lo que contribuye a compensar la DBO, saturando de oxígeno el medio acuático degradado.
- e) **Variación de Temperatura:** Al elevarse las temperaturas del agua aumentan las reacciones metabólicas, lo que acelera la eliminación de los contaminantes orgánicos, pero esta aceleración provoca una rápida disminución del oxígeno disuelto en el agua ya que las aguas más calientes retienen y disuelven menos este gas.
- f) **Acciones Químicas y Bioquímicas:** algunas actividades químicas y bioquímicas pueden intervenir en los procesos de autodepuración, como la oxidación de compuestos y elementos; las moléculas complejas son desdobladas en ácidos orgánicos, alcoholes, acetonas, compuestos aromáticos, entre otros.
- g) **Depredación:** Las actividades de depredación y parasitismo pueden ser relevantes en el proceso de la declinación bacteriana que constituye uno de los aspectos claves de la autodepuración desde el punto de vista sanitario.

2.6.2 Zonas de Autodepuración de una corriente

El perfil de la variación de oxígeno disuelto de un río en el que se descargan desechos, en un tiempo determinado, puede dividirse en sectores correspondientes a las distintas etapas del proceso de declinación y recuperación de dicho oxígeno. Estos se denominan zonas de autodepuración. Estas zonas se define de acuerdo al nivel de oxígeno

correspondiente al 40% del valor de saturación, considerado como límite de tolerancia para los peces (López 1998, Branco 1984).

- Zona de Degradación

Constituye el lugar que recibe los vertidos o drenajes naturales, el agua se enturbia de inmediato, en el fondo se depositan las partículas más pesadas; la descomposición no se inicia aún, posterior se desarrolla grandes poblaciones de bacterias, y otros organismos saprofitos.

- Zona de Descomposición Activa

Esta zona se identifica en aquellos tramos que reciben descargas relativamente saturadas de desechos biodegradables. Se caracteriza por el color oscuro del agua y depósitos de lodo en el fondo, emisión de malos olores lo cual señala un proceso de descomposición anaeróbica en el sustrato. Desaparecen las formas de vida aeróbica con excepción de aquellas que pueden obtener el oxígeno del aire, también son abundantes las formas anaeróbicas. Predominan las formas amoniacales del nitrógeno. Se caracteriza por la abundancia de protozoos, gusanos oligoquetos, larvas de insectos resistentes a la falta de oxígeno, como ciertos grupos de dípteros.

- Zona de Recuperación

Acá se inicia la recuperación de las condiciones previas a las descargas. La demanda de oxígeno es baja, puesto que la mayor parte de la materia biodegradable ha sido consumida y prosigue la reoxigenación natural. Las aguas son más claras y se favorece la fotosíntesis y el proceso de recuperación de oxígeno. Entre los compuestos nitrogenados abundan las formas minerales de nitritos y nitratos, materiales estables como sulfatos y fosfatos, esto favorece que las aguas se vuelvan fértiles y eutroficadas. Proliferan protozoos, rotíferos y micro crustáceos, moluscos y diversos gusanos forman poblaciones numerosas que sirve de alimento a peces tolerantes de estas condiciones.

- Zona de Aguas Limpias

Acá se han recuperado las condiciones originales, anteriores a la contaminación, al menos en las condiciones que respecta a DBO, concentración de oxígeno e índices bacterianos.

2.7 Prevención de la contaminación del agua

El documento del Comité Preparatorio sobre Protección de la Calidad y Disponibilidad del Recurso Hídrico (ONU 1992, citado por Andreoli 1993) determina el manejo holístico de la gestión de los recursos hídricos, integrado al proceso de gestión ambiental, como una estructura básica que determina las propuestas de políticas, económicas y sociales.

Sagardoy (1993) plantea una serie de pasos para la prevención de la contaminación: la primera consiste en conocer el estado de calidad de las masas de agua de una zona o región, para lo cual son necesarias unidades de monitoreo para vigilar los índices de contaminación. Es menos dificultoso la identificación de las fuentes puntuales como industrias y hogares que aquellas fuentes difusas o no puntuales. La diferencia entre la carga total de contaminantes y la que puede atribuirse a la industria y al uso doméstico puede ser atribuible a la contaminación natural y agrícola. La segunda etapa consiste en evaluar el daño producido, se debe avanzar en la investigación de los efectos causados por plaguicidas, fertilizantes y desechos agrícolas sobre el medio y la salud humana. Y en tercer lugar debe entenderse el desplazamiento de los contaminantes desde dónde son descargados hasta alcanzar los cuerpos de agua.

La mayoría de investigaciones coinciden que es más económico prevenir la contaminación en lugar de tratar el agua contaminada. La adopción de medidas preventivas con frecuencia es estimulada por incentivos financieros como subsidios de ciertas prácticas agrícolas, políticas de precios e impuestos, otros mecanismos eficaces y complementarios son las medidas de regulación y campañas educativas (Sagardoy 1993).

2.7.1 Parámetros para el análisis físico-químico del agua

Diversas características del agua son de importancia para el monitoreo de su calidad y aprovechamiento, algunas de ellas son:

Características físicas, químicas y biológicas de calidad de las aguas y sus fuentes	
Propiedades Físicas	Fuentes
Color	Residuos domésticos, e industriales, descomposición natural de materiales orgánicos
Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Residuos domésticos e industriales, erosión de suelos,
Temperatura	Residuos domésticos e industriales
PH	Residuos domésticos, industriales
Compuestos químicos Orgánicos	
Aceites y Grasas	Residuos domésticos e industriales,
Pesticidas	Residuos agrícolas
Detergentes	Residuos domésticos, actividad comercial e industrial
Inorgánicos	
Alcalinidad	Residuos domésticos, abastecimientos de agua, infiltración de fuentes subterráneas
Cloruros	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas
Metales pesados	Residuos industriales y agricultura
Nitrógeno	Residuos domésticos y agrícolas

(Tomado y Modificado de Canter 1998)

Entre los parámetros Físico-químicos y Bacteriológicos utilizados en los monitoreos de calidad del agua se encuentran:

Temperatura: las variaciones bruscas de temperatura son indicadoras de contactos con descargas más calientes o más frías, se expresa en °C.

Color: En un agua el color puede ser verdadero o aparente según contenga sustancias disueltas o en suspensión. Posterior a una adecuada eliminación de estas sustancias el color desaparece. En aguas subterráneas el color se debe a la presencia de compuestos de los ácidos húmicos y tánicos que dan color amarillo oscuro. También la presencia de sales de hierro o manganeso causan un color amarillento al agua. En aguas superficiales o poco profundas los vegetales pueden impartir un color amarillo verdoso por la presencia de clorofila; también, pueden ser coloreadas por las descargas industriales o domésticas.

Sabor: El agua de buena calidad no debe de tener sabor alguno. Los metales de cobre, hierro y cinc, imparten al agua un sabor metálico. Esto puede ser indicador de contaminación por descargas industriales

Olor: Los olores en el agua poseen una amplia gama debido a las fuentes que los producen. Los olores balsámicos o aromáticos pueden provenir de los microorganismos presentes en el agua. Olor sulfuroso es típico de los minerales de azufre. Variaciones repentinas en el olor pueden indicar contaminación biológica o industrial. Algunos olores típicos son: aromático, desagradable, mohoso, químico, sulfuroso, terroso y vegetal.

2.7.2 Indicadores de contaminación orgánica

Nitrógeno orgánico: Están presentes en las sustancias proteicas que llegan al agua y eso señala contaminación. Se requieren procesos de cloración para eliminarlo de los sistemas de agua potable.

Nitrógeno Amoniacal: Generalmente la presencia de amoníaco en las aguas superficiales es causada por desechos domésticos o de origen animal. Una tercera parte de las heces humanas están constituidas por amoníaco. En presencia de amonio se desarrollan microorganismos y se encuentran problemas de corrosión y de cloración a causa de la formación de cloraminas.

Nitritos: La presencia de los nitritos puede resultar de la oxidación del amoníaco o de las descargas industriales o agricultura intensiva. Indican contaminación reciente de origen humano o animal.

Nitratos: Proviene de descargas domésticas o ser de origen animal, según la transformación química siguiente: Amoníaco → nitritos → nitratos. Puede derivarse del escurrimiento de aguas lluvias en terrenos tratados con fertilizantes nitrogenados (nitrato de amonio). Elevadas concentraciones causan metahemoglobinemia infantil, este síndrome se produce cuando en presencia de nitratos en el agua se produce oxidación del hierro al estado férrico generando metahemoglobina, compuesto que no tiene capacidad de transportar oxígeno, por lo tanto concentraciones elevadas de nitratos producen cianosis

Cloruros: Son abundantes en la naturaleza y pueden ser encontrados en todas las aguas en concentraciones de 1 a 3 mg/L. Las excretas y ciertas descargas industriales contienen cloruros. Los límites de cloro en los sistemas de distribución potable deben de mantener concentraciones constantes, una variación indicaría contaminación con aguas domésticas o industriales.

Fosfatos: Se encuentran en muchos compuestos químicos, como detergentes domésticos e industriales, fertilizantes, orina, entre otros. La búsqueda de estos componentes se hace solo en aguas superficiales, en aguas profundas estos no alcanzan a llegar, ya que son retenidos en los estratos superiores del terreno. Junto a los nitratos son los responsables de la eutroficación en las aguas superficiales

Ácido sulfhídrico: Pueden estar en aguas profundas en las cuales producen olores desagradables, provienen de la descomposición de sustancias orgánicas o por reducción de sulfatos por parte de organismos anaeróbicos. Pueden provenir de origen mineral como residuos de actividad volcánica (aguas termales). En concentraciones bajas pueden generar olor desagradable y provocar corrosión.

Conductividad: Una alta conductividad corresponde a un elevado contenido de sales, lo que crea problemas higiénicos y causar corrosión, los cambios bruscos principalmente en aguas subterráneas pueden tener un significado de contaminación por descargas domésticas o industriales.

2.7.3 Determinaciones analíticas

Las determinaciones analíticas determinan la utilización del agua bajo el punto de vista higiénico, alimenticio e industrial, entre las más utilizadas se encuentran:

Sustancias en suspensión: en esta categoría se distinguen las sustancias sedimentables y las no sedimentables, pueden ser de origen natural (presencia de arcilla, limo) o por descargas industriales. La turbidez originada por los sólidos suspendidos disminuye la penetración de la luz solar en la columna de agua, y la sedimentación del material en suspensión provoca obstrucción en áreas de reproducción de peces y otros organismos.

Alcalinidad: Es la suma de los componentes (carbonatos y bicarbonatos) que tienden a elevar el pH del agua, una elevada alcalinidad puede servir de señal de descargas industriales. Está relacionada con la capacidad de neutralización del agua y su relación con el pH y el efecto en la toxicidad de otros compuestos lo vuelve importante para la evaluación de la calidad (Maidment 1992, EPA 1976).

Dureza: Su concentración depende de los contenidos de calcio y magnesio que están disueltos en el agua, los valores altos de dureza pueden indicar contaminación.

Oxígeno disuelto: Es uno de los parámetros más significativos para conocer el grado de pureza del agua superficial, se encuentra en solución en todas las aguas superficiales y subterráneas; en la superficie, su contenido cambia continuamente por las variaciones de la temperatura externa, el movimiento del agua, procesos fotosintéticos, entre otros. La presencia de sustancias tenso activas (detergente y jabones) en su superficie impide la reoxigenación del cuerpo hídrico necesario para la flora y plancton del medio.

2.7.4 Análisis bacteriológico

Los análisis bacteriológicos más comunes determinan la presencia de bacterias que se encuentran normalmente en las heces humanas o animales, pero que no son patógenas. Altos niveles de bacterias coliformes son indicadores de pobres condiciones de calidad y señal de contaminación fecal, por lo cual el agua de consumo humano debe estar libre de coliformes.

Coliformes totales: Este parámetro muestra la cantidad de coliformes totales presentes, incluida *Escherichia coli*. Su presencia indica contaminación muy reciente, por lo que se requiere de métodos de cloración del agua. Para su estimación se emplea el método de Fermentación de Tubos Múltiples o Filtros de Membrana.

Coliformes Fecales: Constituye un análisis de confirmación de contaminación del agua, sin lugar a dudas ha existido contacto con materia fecal reciente ya que estos microorganismos son poco resistentes en el agua.

2.7.5 Restricciones al uso del agua debido a la degradación de su calidad

Los diferentes contaminantes que alcanzan los cuerpos de agua pueden provocar restricciones para el aprovechamiento amplio y seguro. Los efectos de la contaminación dependen del tipo y concentración de contaminantes, así los compuestos orgánicos solubles con una alta demanda de oxígeno provocan el agotamiento del oxígeno en el agua superficial, esto puede ocasionar la muerte de peces y aparición de organismos acuáticos y olores indeseables, debido a las condiciones anaerobias (Canter 1998).

Los sólidos en suspensión disminuyen la transparencia del agua y dificultan los procesos fotosintéticos, si los sólidos sedimentan y se forman depósitos de fango, se producen cambios en el ecosistema béntico de los ríos. La turbidez, los aceites y materiales flotantes influyen en la transparencia del agua

Entre los principales grupos de contaminantes y el nivel de restricción sobre determinados usos del agua se mencionan los siguientes:

CONTAMINANTE	USOS GENERALES						
	Consumo	V.Acuática	Recreación	Riego	Industrial	Energía	Transporte
Patógenos	xx	0	xx	x	xx (1)	na	na
Sólidos Suspensión	xx	xx	xx	x	x	x (2)	xx (3)
Materia orgánica	xx	x	xx	+	xx (4)	x (5)	na
Micro-organismos	xx (5,6)	x (7)	xx	+	xx (4)	x (5)	x (8)
Nitratos	xx	x	na	+	xx (1)	na	na
Sales	xx	xx	na	xx	Xx (9)	na	na

Fuente: Canter (1998)¹

El exceso de nitrógeno y fósforo pueden producir desarrollo masivo de algas. Este proceso desencadena la eutroficación, que comienza con un crecimiento acelerado de algas (productores primarios), lo que provoca un aumento de la turbidez del agua, esto dificulta la fotosíntesis y se produce una muerte masiva de algas. Las aguas entran en condiciones de anoxia, propicio para organismos anaeróbios que degradan la materia orgánica liberando gases de olor desagradable (metano, gas sulfhídrico).

2.8 Parámetros y guías de calidad del agua

Las agencias responsables del control de la contaminación de agua han adoptado normas de calidad para los cuerpos de agua y efluente con el propósito de proteger la calidad de los recursos hídricos. El siguiente cuadro muestra una clasificación propuesta en Inglaterra para la calidad de las corrientes de acuerdo a niveles de contaminantes (Cubillo 1990).

¹ Simbología: xx: daño importante, mayor tratamiento o exclusión del uso X: daño menor, 0: ningún daño

na: no aplica +: hasta cierto nivel de contaminación puede presentar ventajas (1) ind. alimentos; (2) abrasión; (3) sedimentos en canales; (4) Ind. eléctricas.; (5) obstrucción de filtros; (6) olor y sabor; (7) estanques de peces pueden aceptar mayor numero de algas.; (8) crecimiento de jacinto acuático.;(9) Ca, Fe,Mn en industrias textiles

Concentraciones promedio de contaminantes para aguas de ríos en diferentes condiciones de impacto por la introducción de vertidos.							
Condición del río	DBO _{5,20} (mg/l)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Nitrógeno amoniacal (mg/l)	Nitrógeno orgánico (mg/l)	N nitrito (mg/l)	Sólidos suspendidos (mg/l)	Cloruros (mg/l)
Muy limpio	1	11	0,04	0,1	0,5	4	10
Limpio	2	9,3	0,24	0,25	2	15	25
Regular	3	8,6	0,67	0,35	2,2	15	30
Dudosa	5	6,6	2,5	0,6	4	21	50
Mala	10	Bajo (3)	6,7	1	5	35	>50
Muy mala	> 20	Muy bajo	-	-	-	-	

Unidades: ppm= mg/l. Tomado de Cubillo (1990), CDIAT, Venezuela.

En el control de la contaminación es conveniente medir la masa total vertida al ambiente o un cuerpo de agua además de conocer la concentración del contaminante; la masa del contaminante es el resultado del producto de flujo del agua residual vertida durante un período de tiempo por la concentración, medida en gramos por metro cúbico (gr.m^{-3}), este tipo de información permite conocer el impacto de los desechos sobre el cuerpo receptor del desecho (Cubillo 1990)

2.9 Criterios básicos para el monitoreo de calidad en cuerpos hídricos superficiales.

Sobre el monitoreo del estado de calidad de los cuerpos de agua Gilbert (1987), divide los estudios sobre contaminación ambiental en dos grandes áreas:

- 1) Monitoreo: La información es colectada para caracterizar las concentraciones en el ambiente (aire, agua, biota) o para controlar las concentraciones en efluentes. El propósito de estos estudios puede ser la vigilancia de un determinado agente contaminador, detectar tendencias a largo plazo, proveer de descripciones espaciales y temporales de promedios o eventos extremos, establecer datos

básicos (línea base) para futuras referencias y planificación, y para indicar la necesidad de otro tipo de información.

- 2) Investigación: Los datos de campo y laboratorio pueden ser colectados para estudios del transporte de contaminante a través de las redes alimenticias y el ambiente hasta el humano, determinar y cuantificar la relación causa-efecto que controla los niveles de contaminación el tiempo y espacio.

La localización de los sitios o estaciones es un factor clave que puede determinar la validez de la información recolectada. Puede definirse tres niveles en el proceso de la selección de estaciones de muestreo y punto de toma: 1) macrolocalización de tramos del río que son representativos de la calidad de toda la cuenca; 2) la microlocalización que implica la ubicación del tramo precedente, de la estación de muestreo y 3) selección final del punto o puntos de toma de muestra, que van a dar un valor representativo del área de monitoreo.

En otros casos se puede disponer acorde al objetivo de tipo general o por cuenca, el criterio se basa en el aporte de los diferentes ríos, población asentada en su área de influencia, su relevancia socioeconómica y política. Este enfoque contempla la distribución de los recursos disponibles, capacidad operacional de los laboratorios y presupuesto asignado (Lobo 2000, Carrizo 1999)

2.9.1 Estudios de contaminación que priorizan el enfoque de cuenca

El comportamiento de calidad del agua en las cuencas presenta una variación espacial y temporal, si pueden dividirse en subcuencas relevantes, cuando se las compara e inclusive dentro de las mismas, Según Carrizo (1999) una estimación de la carga contaminante que se vuelca a un río en su desembocadura, vinculada a la acción antropógena en una cuenca, puede expresarse según el conjunto de los componentes siguientes: $C_o = C_i + C_g + C_b + C_h$

Dónde :

- C_o = Carga mineral de contaminantes y nutrientes que llegan a la desembocadura del río.
- C_i = Carga de minerales y compuestos contaminantes asociados a la deposición atmosférica en la cuenca de drenaje de un río, ya sea proveniente de fuentes naturales o antropógena (lluvia, polvo, etc.).
- C_g = El aporte total de materiales asociados a fuentes geológicas y/o abióticas naturales o modificadas por acción humana (erosión, minerías, construcciones civiles, escorrentía en zonas agrícolas, etc).
- C_b = Carga biótica, natural o modificada que proviene del área de influencia directa de la cuenca (fauna silvestre, flora, explotaciones agrícolas / ganaderas, zonas de bosque, plantaciones, etc.).
- C_h = Aporte de minerales, nutrientes, y contaminantes asociados a actividades antrópicas de fuentes puntuales y/o distribuidas (efluentes vertidos de industrias o municipios, ingreso de plaguicidas, nutrientes, fertilizantes, por su empleo no controlado en zonas agrícolas).

Estos balances hidroquímicos sirven para los denominados enfoques globales por cuenca de un río en particular, se monitorean pocas estaciones para caracterizar la situación a nivel base de las nacientes y los niveles de concentración y caudal alcanzado en la desembocadura de cada uno de ellos, como si se tratara de colectores o cajas negras que aportan las cargas contaminantes respectivas.

Una macrolocalización coherente debe efectuarse sistemáticamente hasta cierto nivel, luego puede ser lógica la aplicación de preferencias o presunciones del grupo investigador, por ejemplo identificar las descargas relevantes sobre el cauce. Luego de la macrolocalización y microlocalización, se escoge la ubicación real de la estación de monitoreo.

El carácter de la estación puede ser fijo o transitorio, en el primer caso se suelen monitorear tendencias a largo plazo y flujos máxicos de una serie significativa de parámetros de calidad de agua a efluentes o descargas y productos de la descomposición de los mismos.

Para las estaciones transitorias, la finalidad es el seguimiento de menos parámetros de calidad durante períodos cortos, son más flexibles por que su ubicación puede cambiarse en función de las primeras campañas y su número reducirse, si con menos estaciones se sigue cumpliendo con los objetivos del estudio (Carrizo 1999). Algunas de las modalidades de los estudios de monitoreo de la contaminación son proporcionadas por Carrizo (1999) y Ward y McBride (1986)

Tipo de Estudio a efectuar en cuencas hidrográficas	Información requerida
Establecimiento de condiciones base del sistema de estudio	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de iones mayores y nutrientes • Patrones de concentración estacionales y anuales
Distribución espacial y/o tendencias espaciales en el nivel de concentración de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de la distribución de contaminantes • Determinación de zonas de homogeneidad • Determinación de gradientes espaciales (aguas abajo de una descarga)
Tendencias a largo plazo Identificación y cuantificación de problemas de contaminación y posibles fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y cuantificación de tendencias temporales acordes a datos históricos y nuevas series de medición. • Rastreo y vigilancia de contaminantes potenciales asociados a fuentes puntuales y distribuidas de la región. • Evaluación de riesgos ambientales mediante comparación con Niveles Guías de Calidad según el uso a preservar.
Evaluación o determinación de impactos ambientales de contaminantes en una región determinada	<ul style="list-style-type: none"> • Datos sobre los efectos contaminantes de los contaminantes detectados sobre la biota y/o salud humana, cuantificación de su incidencia según usos a preservar in situ y en laboratorio.
Desarrollo de niveles de calidad de Agua, guía para un tramo o una región determinada de la cuenca	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación del grado de mineralización o estabilización del contaminante por zonas o tramos del río. • Determinación de niveles de afectación mínimos de contaminantes en la vida acuática y especies de interés acorde a usos prioritarios establecidos
Estimación de cargas máxicas de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los flujos máxicos aportados por cada tributario y/o desembocadura del curso en estudio
Evaluación efectiva de medidas correctivas o de saneamiento implementadas en la cuenca	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de cambios estadísticamente significativos en los niveles de calidad de agua desde la ejecución de obras de manejo y control ambiental

2.10 Índices de calidad ambiental

Los índices ambientales constituyen clasificaciones descriptivas de una gran cantidad de datos o información ambiental, su propósito es simplificar la información para que pueda ser útil a los tomadores de decisión y público en general. Algunas de las características establecidos en los índices son:

- Resumen los datos ambientales existentes
- Comunican la información sobre la calidad del medio afectado
- Se concentran en los factores ambientales claves
- Sirven de base para la expresión del impacto ambiental y detección de diferencias entre medios intervenidos de los no impactados

Entre las aplicaciones prácticas de los índices ambientales se encuentran las siguientes:

- Análisis de tendencias: los índices pueden caracterizar el estado ambiental de diferentes estaciones a lo largo de un río, además de su variación temporal, sin necesidad del análisis particular de cada parámetro utilizado.
- Caracterización del estado ambiental de los recursos hídricos
- Identificación de diferentes secciones de la corriente en estudio
- Clasificación de sitios y comparaciones entre estaciones y áreas de las cuencas
- Evaluación del efecto de vertidos contaminantes y la eficiencia del proceso de auto depuración
- Difusión de información al público, constituye una herramienta para la comunicación del estado de calidad o recuperación de las corrientes de interés.

2.10.1 Índice de calidad del agua

Con el uso más amplio de índices sobre el estado de conservación y/o degradación de los recursos, en especial sobre la calidad del agua (ICA), propuestos por diversos autores (Lobo 2000, Canter 1998, Rojas 1986) se busca facilitar la interpretación y entendimiento de los parámetros de calidad convencionalmente usados, y del proceso de la contaminación.

El índice de calidad de agua, desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos utiliza los parámetros convencionales de calidad como oxígeno disuelto (O_2), bacterias coliformes fecales, potencial de Hidrógeno, Demanda Biológica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), Nitratos (NO_3^-), Fosfatos (PO_4^-), variación de la temperatura del agua y ambiental, Turbidez (en unidades NTU o JTU) y sólidos totales. A cada una de estas variables se les asigna un peso o importancia según el criterio de uso, comúnmente para consumo humano.

El índice expresa el estado de calidad del agua en un ámbito de 0 a 100 unidades, lo cual señala condiciones entre críticas o pobres hasta muy óptimas. El peso obtenido para cada parámetro utilizado (w) y la importancia del parámetro dentro de la evaluación de calidad es el siguientes:

Parámetro o Variable (I)	Peso asignado (W)	Importancia del parámetro
Oxígeno disuelto (% Saturación)	0,17	Condiciones críticas para la vida acuática
Coliformes Fecales NMP/100 ml	0,15	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
Potencial de Hidrógeno pH	0,12	Condiciones para vida acuática y agua potable
Demanda Biológica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$ mg/l)	0,1	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
Nitratos (NO_3^- , mg/l)	0,1	Determina niveles de eutroficación/ riesgo por consumo
Fosfatos (PO_4^- , mg/l)	0,1	Determina niveles de eutroficación
Temperatura ($^{\circ}C$)	0,1	Crítico para vida acuática/consumo humano
Turbidez (NTU/JTU)	0,08	Limitante para aguas de consumo humano
Sólidos Totales (mg/l)	0,08	Limitante para aguas de consumo humano

Fuente: Lobo (2000); Canter (1998); De Cardoso *et al.* (1993)

Para cada uno de los 9 componentes se han desarrollado curvas que relacionan la calidad del agua con respecto a la concentración del parámetro o contaminante, el valor obtenido del eje de las ordenadas se denomina subíndice "i". Para el cálculo final se procede de la manera siguiente:

ICA= Índice de calidad del agua, entre 0 y 100, Π (Sub i)^{wi} dónde:

Sub i= subíndice de la variable o parámetro i (Oxígeno, pH, coliformes, etc.), obtenido en las curvas de aptitud, oscila entre 0 y 100.

Π : Operación multiplicativa

Wi = Peso o importancia ambiental del parámetro i, entre 0 y 1, $\sum_{i=1}^n$

n = número de variables de contaminación del análisis de contaminación.

El procedimiento propuesto por Lobo (2000) y Canter (1998), constituye una operación de adición de los subíndices obtenidos para cada uno de los nueve parámetros, o también un proceso multiplicativo como el propuesto en la relación siguiente:

Valor final del índice de Calidad = (Sub índice_{oxígeno disuelto})^{0.17} x (Sub índice_{coliformes fecales})^{0.15}
 x (Sub índice_{potencial de hidrógeno})^{0.12} x (Sub índice_{demanda biológica de oxígeno})^{0.1} x (Sub índice_{nitratos})^{0.1}
 x (Sub índice_{fosfatos})^{0.1} x (Sub índice_{diferencia de temperatura})^{0.1} x (Sub índice_{turbidez})^{0.08}
 x (Sub índice_{sólidos totales})^{0.08}

El valor obtenido es un índice de carácter general, con una orientación hacia aguas con potencial para abastecimiento humano, no incorpora el efecto de sustancias de naturaleza tóxica como pesticidas o metales pesados (Canter 1998, De Cardoso *et al.* 1993).

Otros autores como Dinius (1987) han propuesto la aplicación de índices específicos para diversos usos como riego, vida acuática, recreación, etc., utilizando para su diseño variables adicionales como conteos de *E. coli*, Alcalinidad, Cloruros, Conductividad, entre otras y establecen rangos óptimos de calidad según los usos deseados.

2.11 Índices de diversidad biológica y su aplicación a los estudios de contaminación

Un organismo indicador es una especie seleccionada por su sensibilidad o tolerancia a diversos tipos de contaminación y sus efectos. En relación con calidad de agua, los diversos grupos que han sido escogidos como indicadores comprenden bacterias, protozoos, algas, macroinvertebrados, macrófitas y peces (Canter 1998). Algunas consideraciones para el uso de indicadores ecológicos son:

1. En general, las especies de rangos ambientales estrechos o limitados predicen mejor los cambios ejercidos en sus medios que los de amplios rangos de vida.
2. Las especies de mayor tamaño son mejores indicadoras debido a que la biomasa más grande y estable puede sostenerse con un determinado flujo de energía.
3. Antes de usar especies individualizadas o de un grupo de especies como indicadoras, deben obtenerse pruebas de campo de que los factores ambientales escogidos son realmente limitativos, y también de la capacidad de las especies para compensar o recuperarse de los impactos.
4. Las relaciones numéricas entre especies, poblaciones y comunidades constituyen indicadores más seguros que el análisis de especies aisladas.

Canter (1998) describe las diferentes respuestas ecológicas a la tensión ambiental consideradas en la evaluación de la resiliencia de los ecosistemas o población:

- Mortalidad.
- Cambios en el índice de nacimiento.
- Desplazamiento (emigración).
- Cambio de cobertura, crecimiento o vitalidad de los individuos.
- Cambio de comportamiento
- Interrupción de interrelaciones del ecosistema (por ejemplo: interrelaciones depredador-presa).

Probablemente el indicador más importante de la capacidad de recuperación es el índice de natalidad o del de reestablecimiento de la población.

Los métodos basados en la presencia o ausencia de ciertos grupos o especies indicadoras parten de los planteamientos alternativos a los primeros, los métodos que evalúan la contaminación se basan en la estructura de la comunidad, en su diversidad, en general una mayor diversidad indica una comunidad acuática más estable (Canter 1998, Branco 1984). Algunos de los índices de diversidad más usados son los siguientes: Índice de Simpson (D), Índice de Margalef (D), de Shannon-Wiener (H') y Uniformidad (E').

Los índices basados en abundancia proporcional de especies como los de Simpson y Shannon-Weiner expresan la abundancia de especies en una comunidad mediante un número único y en principio mientras más diversa es una comunidad acuática más estable es su entorno (Canter 1992, Siewert *et al.* 1989, De Cardoso *et al.* 1993)

Índice de diversidad de Shannon –Weiner (H'):

Este índice se basa en la lógica de que la diversidad o la información en un sistema natural puede ser medido de un modo similar a la información contenida en un código o mensaje (Magurran 1989). El índice H' considera que los individuos se muestrean al azar a partir de una población efectivamente infinita y asume que todas las especies están representadas en la muestra. El valor del índice de diversidad (H') comúnmente se encuentra entre 1.5 y 3.5. Es importante señalar que este índice le asigna mucha importancia a las especies menos abundantes, su fórmula es:

$$H = - \sum p_i \log p_i$$

donde:

H' = valor de la diversidad de especies

P_i = es la proporción de individuos de la especie i -ésima estimado como n_i/N

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de especies.

Otro aspecto importante a mencionar es que este índice combina dos componentes de la diversidad que son el número de especies y la equitatividad o uniformidad de la

distribución de los individuos entre las especies (Begon *et al.* 1996). La equitatividad se mide a través de la fórmula siguiente: $E = H/H_{\max}$, donde $H_{\max} = H/\ln S$.

En conclusión el índice H mide la probabilidad de seleccionar todas las especies en la proporción en que existen en la población o sea mide la probabilidad de que una muestra seleccionada al azar de una población infinitamente grande contenga exactamente n_1 individuos de especie 1, n_2 de especie 2, y n_s individuos de la especie S. Por lo tanto el índice H' aumenta a medida aumenta la riqueza y la distribución de los individuos es más homogénea entre todas las especies (Magurran 1989).

Índice de Simpson:

Este índice se pondera mediante la abundancia de las especies más comunes, se basa en la probabilidad de que dos individuos cualesquiera que sean extraídos al azar de una comunidad infinitamente grande pertenezca a diferentes especies (Begon *et al.* 1996); su fórmula es:

$$D = 1/\sum p_i^2$$

El índice D le asigna mayor peso a las especies más abundante y da poca importancia a las especies raras (Magurran 1989); sus valores oscilan entre 0 (diversidad baja) a un máximo de $1-1/s$ donde S es el número de especies (Begon *et al.* 1996).

2.12 Literatura citada

- Andreoli, C. 1993. Influencia de la agricultura en la calidad del agua. *In* FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CL) Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines p. 59-74 (Informe sobre Temas hídricos no.1)
- Ayers, RS; Westcot, DW. 1987. La calidad del Agua en la Agricultura. FAO (Organización para la Agricultura Alimentación, IT) 174 p. (Serie Riego y Drenaje no. 29 Rev.1)
- Begon M; Harper, JL; Townsend, CR. 1986. Ecology: individuals, populations and communities. 3rd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 876 p.

- Branco, SM. 1984. Limnología sanitaria: estudio de la contaminación de aguas continentales. OEA (Organización de Estados Americanos, US).120 p. (Serie de Biología no. 28)
- Canter, LW. 1998, Manual de Impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Trad. Echaniz *et al.* Madrid. 841 p.
- Calow, P; Petts, GE. 1992. The river handbook. hydrological and ecological principles. Volume 1. Blackwell Scientific Publications NY 526 p.
- Campbell, R. 1987. Ecología microbiana. Editorial Limusa. México. 268 p.
- Carrizo, R. 1999. Metodologías para diseño de redes de monitoreo, estadísticas, precisión de las determinaciones analíticas, control de calidad. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. 122 p. (Programa de Desarrollo Institucional Ambiental No. 5 Control de Contaminación Industria)
- Cubillos, A. 1990. Calidad del agua y control de la contaminación. CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, VE). 121 p. (Serie Ambiente y Recursos Naturales Renovables)
- Dinius, SH. 1987. Design of an index of water quality. *Water Resource Bulletin* 23(5): 833-843
- Dow C; Zampella, RA. 2000. Specific conductance and pH as indicators of watershed disturbance in streams of the New Jersey Pinelands, USA. *Environmental Management* 26(4):437-445.
- Environmental Protection Agency (EPA, US). 1999. Identification of water quality indicator and target values. Office of water, total maximum daily load (TMDL) program (en línea) Consultado : 28 ago. 2001. 24 p. Disponible en <http://www.epa.gov/water>
- Environmental Protection Agency (EPA, US). 1976. Quality criteria for water. Washington 256 p.
- Elósegi A; Arana, X; Basaguren, A; Pozo, J. 1995. Self-purification processes along a medium-size stream. *Environmental management* 19(6): 931-939
- Frere, MH; Seely, EH; Leonard, RA. 1982. Water quality modeling: p. 383-401 *In* Haan,CT; Johnson, HP; Brakensiek, DL. eds. Hydrological modeling of small watersheds. (Am.Soc.of Agric. Eng. no. 5)

- Gilbert, RO. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring, Van Nostrand Reinhold Co. New York, 320p.
- Hem, JD. 1985. Study and interpretation of chemical characteristics of natural water. United Geological Survey Third edition. 262 p. (Water-Supply paper 2254).
- Huber, WC. 1992. Contaminant transport in surface water. p. 14.33-14.37. *In* Maidment, DR. ed. Handbook of hydrology McGraw-Hill NY.
- IHD-WHO (World Health Organization, IT). 1978. Working Group on the Quality of Water. Water quality surveys: a guide for the collection and interpretation of water quality data. Rome 350 p. (Reports in Hydrology no. 23)
- Ingram, WM; Mackenthum, KM; Bartsch, AF. 1966. Biological field investigative data for water pollution surveys. US.Department of the Interior. 1329 p.
- Inland Water Directorate (IWD, CA) 1979. Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters. Water Quality Branch, Ottawa, Canada. 68 p.
- Lobo, JE. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
- López, D. 1996. introducción a la Geoquímica de Aguas Naturales II: Contaminación de Aguas. Fundación Amigos del Lago de Ilopango 61p.
- Magurran, AE. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra. España. Trad. AM, Cirer 199 p.
- McCutcheon, SC; Martín, JL; Barnwell, TO. 1992. Water Quality p. 11.12-11.20 *In* Maidment, DR. ed. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, NY.
- MacDonalds LH; Smart, AW; Wissmar, RC. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on stream in the Pacific Northwest and Alaska. US Environmental Protection Agency /Center for Streamside Studies in Forestry, Fisheries & Wildlife 47p.
- Mosley, MP; McKerchar, H. 1992. Streamflow. p. 8.1-8.5. *In* Maidment, DR. ed. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, NY.
- Monterrosa U, AJ. 1993. Caracterización de algas, protozoos, e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del río Chagüite (afluente del Lago de Ilopango), El Salvador. Tesis de Licenciatura para optar al grado de Licenciado en Biología. Universidad de El Salvador 262 p.

- Norma Oficial Mexicana 1996. Norma Oficial Mexicana NoM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. 27 p.
- Repetto, G; Moran, AC. 1991. Apuntes sobre la calidad de las aguas de uso potable. CI (Cooperación Italiana, SV) / MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social) 66 p.
- Rickert, D. 1992. Evaluación de la calidad del agua para determinar la naturaleza y el grado de contaminación del agua por la agricultura y actividades conexas. p. 187-210. *In* Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Informes sobre Temas hídricos no. 1).
- Rinaldi, S; Soncini-Sessa, R; Stehfest, H; Tamura, H. 1979. Modeling and control of river quality. McGraw Hill Series 380 p.
- Roldán Pérez, G. 1996. Guía para el estudio de los macro invertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas, Centro de Investigaciones, Universidad de Antioquia 216 p.
- Sagardoy, JA. 1993. Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. *In* FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CL) Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines p.19-26 (Informe sobre temas Hídricos no.1)
- Salas, W. 1987. respuesta experimental de las aguas contaminadas en la producción agrícola. Editorial UCR, San José CR. 112 p.
- Seoanez, CM. 1999. Aguas residuales urbanas Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi-Prensa. 368 p (Colección Ingeniería Medioambiental)..
- Siewert, HF; Miller, CJ; Torke, BG. 1989. Water quality and macroinvertebrate populations before and after hazardous waste cleanup. *Water Resource Bulletin* 25 (3): p. 685-689
- Ward, RC; McBride, GB. 1986. The "Data rich but information – poor" syndrome in water quality monitoring. *Environmental Management* 10(3): 291-297.
- Westcot, DW. 1997. Quality control of wastewater for irrigated crop production. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 49 p. (Water Report 10).

Capítulo III. Artículo 1: Caracterización e impactos sobre la calidad de las aguas de la cuenca del Río Talnique y las implicaciones para su uso

Mario E. Sagastizado

Centro Agronómico Tropical de Investigación
y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

RESUMEN:

Se recolectó información de variables de calidad del agua en la cuenca del Río Talnique y tres principales tributarios entre marzo y junio de 2001. Los drenajes analizados recogen las aguas de escorrentía de zonas dedicadas a caficultura bajo sombra, granos básicos, numerosas zonas urbanas y las descargas de centros industriales. Las variables convencionales de calidad de agua indicaron en general problemas asociados a alta carga de sedimentos provenientes de zonas dedicadas a cultivos anuales en comparación con las tierras utilizadas para caficultura. Las corrientes sometidas a descargas de agroindustrias presentan anomalías en ciertas características químicas como cloruros, sólidos suspendidos y turbidez.

Las fuente puntuales de contaminación como depósitos de aguas mieles, desechos de gallinaza y aguas de alcantarillas aportan material orgánico que contribuye a elevar los niveles de descomposición y la biomasa vegetal; el cauce principal mostró un agotamiento del oxígeno en los tramos inferiores. Los riesgos de salinidad de las aguas dedicadas al riego es un problema permanente en sectores del Distrito de Zapotitán.

Entre los drenajes de las subcuencas, el amplio drenaje del Río Ateos transportó mayor cantidad de material en suspensión. Se determinó una reducción en la cantidad de nitrógeno y fósforo al final del recorrido de la corriente principal, dicha reducción es favorable para la calidad del agua, pues se superaron también niveles de oxígeno, se redujo la turbidez y logró mejorar la condición química

Los factores hidrológicos como el caudal y velocidad de la corrientes son determinantes en la características químicas del agua, el efecto de escorrentía al inicio de la época lluviosa determinó el cambio en la condición de calidad y cantidad de las aguas superficiales. Los sólidos en suspensión, Demanda Biológica de Oxígeno y cloruros son las variables mejor explicadas con relación a las variables hidrológicas.

3.1 INTRODUCCIÓN

El régimen hidrológico y la disponibilidad de agua en la mayor parte del territorio salvadoreño se encuentran determinado por dos estaciones: la seca, que se extiende de noviembre a abril y la lluviosa de mayo a octubre. La estación lluviosa es la responsable del 85% del volumen total del flujo de las aguas superficiales (Michaels *et al.* 1998). Durante la estación seca, los ríos superficiales se abastecen por medio de fuentes subterráneas de agua, de represas y lagos. Además la erosión ha aumentado el transporte de sedimentos en los ríos, por ejemplo en 1985 se estimaba que la cuenca alta del río Lempa (que abarca más de un tercio del territorio nacional) perdía cerca de 50 toneladas de suelo por hectárea por año, a ese ritmo cada metro cuadrado pierde una capa de 2.5 cm cada año (Barry 1994). La carencia de reforestación o revegetación adecuada en las laderas, así como la falta de promoción de las prácticas agrícolas como agroforestería o conservación de suelos, es señalado por Barry (1994) como una de las causas del incremento de los sedimentos en las represas, proceso evaluado también por Harza (1999).

Las aguas superficiales en diversas zonas de El Salvador reciben el impacto de fuentes de disturbio puntuales y difusas, entre ellas el acelerado proceso de urbanización sin ordenamiento ni planificación territorial integral, agricultura de subsistencia en laderas, amplia práctica de vertido de aguas de desechos industriales en quebradas y ríos, en la mayoría de los casos sin previo tratamiento (PAES 1998, Michaels, *et al.* 1998). Esta situación ha vuelto a las corrientes superficiales en canales de evacuación de sustancias contaminantes y vehículos potenciales de enfermedades contagiosas, en contradicción con la necesidad de agua, principalmente para usos agrícolas y abastecimiento humano, durante los meses más críticos de la estación seca.

La contaminación hídrica en la parte alta de la cuenca del Río Lempa, que cubre cerca del 47% del territorio nacional, es causada por los vertidos de la industria, beneficios de café, ingenios azucareros, y principalmente por las descargas de aguas negras de las áreas urbanas y rurales, las subcuencas de los ríos Sucio, Acelhuate y Suquiapa, principales tributarios que aportan material contaminante a sus aguas (PAES 1998).

Esta situación de inhabilitación de importantes acuíferos suceden en la zona de Valle de San Andrés, en donde la expansión urbana e industrial compite con los suelos agrícolas y zonas de cafetales bajo sombra, lo que amenaza con la permanencia de las fuentes de agua, así como con la preservación de características de calidad aceptables para los usos en actividades, como riego en el Distrito de Zapotitán, abastecimiento de comunidades aledañas y el mantenimiento de las formas de vida acuáticas (PRISMA 1998, PAES 1998).

Hasta la fecha se han desarrollado algunos estudios que han logrado caracterizar de forma general las condiciones de contaminación de los principales tributarios de la zona, incluyendo fuentes subterráneas y manantiales (PAES 1998, Esquivel 1998, Guerra y Guerra 2000, Michaels *et al*, 1998). Dichas investigaciones han mostrado que las cuencas de Río Sucio y sus tributarios tienen altos índices de contaminación, derivada de los efluentes industriales y domésticos, así también, la erosión, acentuada por las prácticas de agricultura en laderas, ante esta situación se requieren de medidas para descontaminar los cauces, mantener los servicios de recarga hídrica que ofrecen las cuencas que constituyen el Valle de San Andrés, lo mismo que procedimientos integrales técnicos y legales para controlar y disminuir el impacto de la contaminación de las aguas.

Para contribuir con el análisis del proceso de la alteración de las corrientes naturales, la presente investigación ha caracterizado de manera preliminar la condición física, química y biológica del Río Talnique, uno de los principales tributarios de las zonas de riego de Zapotitán, y que contribuye al caudal del Río Sucio.

La investigación ha sido realizada mediante el apoyo del Programa Ambiental de El Salvador (PAES), a través del subcomponente de monitoreo de recursos hídricos. Se analizó la calidad de los drenajes de las principales subcuencas que aportan su agua al canal principal, pues cada una de ellas recoge el impacto difuso de las actividades humanas sobre el agua superficial.

Se aplicó un análisis de correlación canónica entre las variables hidrológicas, las mediciones de sedimento en el agua y condiciones de oxigenación. Se evaluó el impacto de los drenajes por la contaminación orgánica, por vertidos industriales y el nivel de sedimentos transportados en drenajes de cuencas caracterizadas por amplias zonas de cultivos limpios en laderas.

Finalmente se hace una comparación de los valores encontrados con las Norma Salvadoreña para Agua Potable (NSO 1996), Norma de Vertidos (NSR 1996), Estándares de Calidad de la Norma Mexicana para riego, uso público y protección de vida acuática, y Criterios de EPA (1976).

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Descripción del área de estudio.

El área de estudio comprende la cuenca del Río Talnique, que junto a los río Ateos, Colón, Agua Caliente - Copapayo y Canal Belén forma parte del sistema del Río Sucio; la cuenca del Río Talnique se extiende en un área del 11002 ha (110,02 km²) y recorre una distancia aproximada de 12 km, desde su formación a un altura de 950 msnm, ubicadas en las formaciones montañosas de la Cordillera El Bálsamo, cuya mayor altura es 1 450 msnm. El drenaje principal corre de Sur a Norte hasta desembocar en aguas del Río Sucio, el cual recoge las aguas de una amplia zona agrícola, y con fuerte actividad comercial e industrial.

El río recibe las aguas de los afluentes Ateos, el cual a su vez recoge el drenaje de la cuenca Shutía y Los Encuentros, y finalmente del Canal Chuchucato, cuyo caudal se

origina de manantiales en la parte baja de cuenca. El río tributario Ateos recoge un área de drenaje de cerca del 47 % del área total de la cuenca del Río Talnique, y su aporte en caudal hacia el canal principal es mayor (Ver Anexos)

La cuenca del Río Talnique, se ubica entre las coordenadas 13° 38' – 13° 48' Latitud Norte y 89° 21' – 89 30' Longitud Oeste, se ubica a 45 km. de San Salvador, es compartida entre los departamentos de La Libertad y Sonsonate, comprende 4 municipios entre Talnique, Jayaque, Tepecoyo y Sacacoyo; otros municipios como Ciudad Arce y Colón, comparten sectores del área del distrito de riego de Zapotitán (Anexo 1 A,H)

Las condiciones climáticas predominantes en la zona se caracterizan por existir dos períodos establecidos, uno de precipitación (mayo a octubre), seguido de una época seca (noviembre a abril), entre ambos periodos climáticos existe una época de transición. El patrón de lluvias para la zona reportada por la estación Tepecoyo (Municipio de Tepecoyo) muestra los siguientes valores de precipitación mensual en un promedio de 30 años:

Lámina media mensual (mm), estación pluviométrica Tepecoyo

MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	EN	FEB	MA	AB	ANUAL
162	334	342	336	382	202	40	4	6	2	7	68	1885

Fuente: Servicio de Hidrología, DGRNR/MAG (INYPISA 2000)

Información preliminar sobre el comportamiento hidrológico presentado por INYPISA (2000), calculado sobre el sector de la cuenca del Río Shutía, tributario del Río Talnique, determino los siguientes valores:

- Área del sector de la cuenca = 12.5 km²
- Precitación anual = 1758 mm
- Evapotranspiración en la cuenca = 910 mm
- Infiltración = 88
- Escorrentía superficial = 760 mm

Cuadro 1. Características de las sub - cuencas y tributario del Río Talnique

Subcuenca	Características del drenaje principal y longitud de recorrido (km)	Características generales y área de drenaje (ha)
Chavaría o La Presa	Río Zanjón de Chavaría o Talnique (7,2 km). Quebrada con vegetación riparia o de galería, fondo rocoso y pozas, corriente turbulenta (anexo 1C)	Área montañosa muy accidentada, cubierta con zonas de arboledas y plantaciones de café bajo sombra, cubre 2 565 ha., y con pendientes mayores del 30%.
Niágara	Río o Quebrada El Niágara (2 km). Canal angosto con malezas acuáticas, Abundantes sedimentos finos depositados en el fondo, corrientes rápidas. Usada para descarga de aguas mieles.	Área montañosa, mayormente cafetales bajo sombra, alcanza 1 272,7 ha. Presencia de Beneficios de café en la cuenca, lagunas de almacenamiento de aguas mieles a inmediaciones del cauce.
Ateos	Incluye los drenajes de quebrada los Encuentros y Río Shutía o Ateos (11,2 km), con un área de 1 967 ha. y 3 301 ha. respectivamente. Vegetación riparia ausente, bordes del canal erosionados. Construcción de diques para retención de agua para actividades domésticas. Corrientes moderadas a lentas, descarga de vertidos.	Amplio recorrido desde alturas de Tepecoyo y Jayaque, cubre 5 268 ha. Zonas de suelo desnudo y pedreras cerca de desembocadura con Río Talnique. Cambio en el patrón de uso del suelo (caña-café) para desarrollo de urbanización rural.
Talnique	Canal principal Talnique / San José Los Sitios y Zapotitán (12.7 km). <u>Tramo superior:</u> canal con fondo rocoso, vegetación permanente en las orillas, escasa malezas. Diques de piedras sobre cauce principal. <u>Tramo inferior:</u> canal ancho, luego de recibir las aguas de Río Ateos. Vegetación riparia muy escasa a ausente. Bordes de canal muy erosionados. Hundimientos de las orillas en zona de Distrito Zapotitán. Abundante maleza acuática sumergida y flotante (Anexo 1C,1G)	<u>Tramo superior:</u> la mayor parte la constituyen tierras de laderas, cubiertas mayormente por cafetales, tierras agrícolas, y matorrales. <u>Tramo inferior:</u> presencia de asentamientos y un uso más intensivo para agroindustrias. 19 industrias se ubican en la zona, caseríos densamente poblados como Ateos. Cultivos bajo riego en Zapotitán y granjas avícolas. Amplia red de caminos vecinales. En total cubre 1 324,3 ha (Anexo 1F,G,H)
Chuchucato	Canal Chuchucato (5.5 km) Canal angosto, corriente permanente atraviesa cultivos de caña de azúcar, recibe el colector de vertidos de industrias asentadas en la zona. Uso para riego en Distrito Zapotitán (Anexo 1F,G)	Evacuación de aguas de desechos de caseríos, contaminación por vertidos sólidos de las comunidades e agroindustrias (numerosos botaderos de basura, desperdicios agroindustriales, Anexo 1D), cubre 571,2 ha



Figura 1

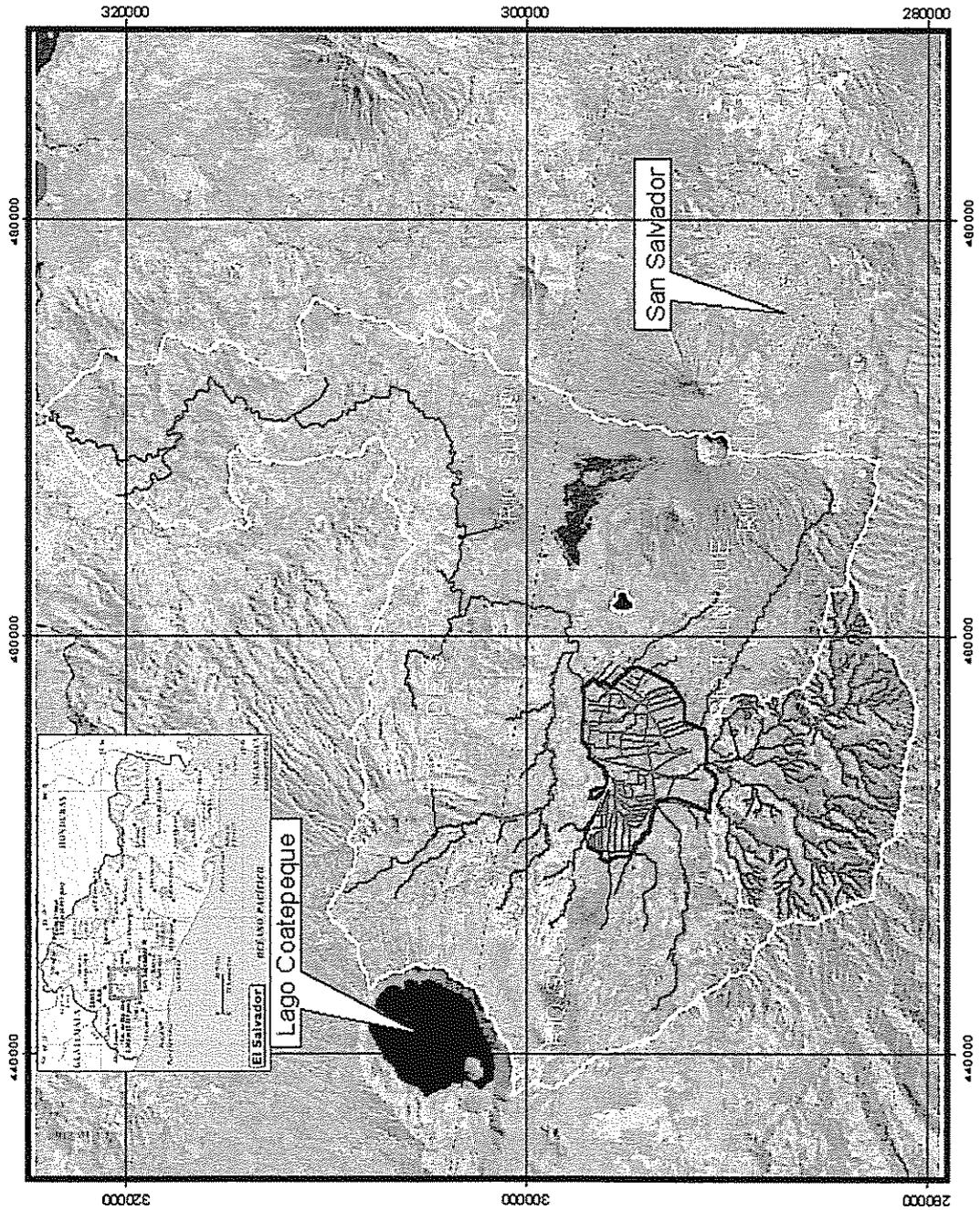
-  Distrito de Riego Zapotlán
-  Red Hídrica
-  Subcuenca Río Talnique
-  Cuenca Río Suelo

Fuente: Programa Ambiental para El Salvador (PAES), CATIE, Trabajo de Campo.

Ubicación de Río Talnique y delimitación de su cuenca.

Preparó: Mario Sagastizado
Cartografía Digital y SIG:
Geog. Christian Brenes

Proyección: Cónica Conforme de Lambert para El Salvador



Los municipios ubicados dentro de la cuenca se encuentran los siguientes:

Cuadro 2. Municipios y número de habitantes dentro de la cuenca del Río Talnique

Municipio	Población total (hab.)	Extensión km ²	Densidad (hab km ⁻²)
Talnique	6 193	29,7	208
Jayaque	11 401	47,5	240
Tepecoyo	10 838	61,1	177
Sacacoyo	9 183	25,2	364

Fuente: Secretaria de Reconstrucción Nacional (SRN 1995), Censo de Población de 1992.

La zona de estudio presenta una tendencia bien acentuada en los últimos años de utilizar los suelos de zonas boscosas y áreas de cultivo para el desarrollo de urbanizaciones, esta situación sucede en las áreas dentro de la cuenca y en zonas aledañas, según INYPSA (2000) referente a la superficie urbanizada de los municipios del Valle de San Andrés, demuestra que ha existido un crecimiento acelerado en ciertos municipios sobre todo en zonas residenciales, centro de industrias y servicios, un detalle del crecimiento en la zona se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Superficie urbanizada por municipios en el período 1978-1996-1999

Municipios	1978	1996	% de zona	1999	1996-1999		Tasa anual de crecimiento
	Superficie de Área Urbana (ha)	Superficie urbanizada (ha)		Superficie urbanizada (Ha)	% de zona	Incremento sup. urbana %	
Cdad. Arce*	107,1	1 105,1	32,1	1 273,6	27,2	15,2	4,1
Colón*	143,4	793,5	23,1	1 357,4	29,0	71,1	15,3
Opico	94,6	905,5	26,3	1 260,4	26,9	39,2	9,4
Sacacoyo*+	3,3	170,9	5,0	221,2	4,7	29,4	7,4

Tomado y modificado de INYPSA (2000) Plan de desarrollo territorial del Valle de San Andrés

*= Comparten sectores del distrito de riego de Zapotitán, += pertenece a cuenca del Río Talnique

Las aguas superficiales son aprovechadas para abastecer los sistemas de canales de riego del Distrito de Zapotitán, en la zona denominada Valle de San Andrés. El distrito de Riego de Zapotitán posee una extensión total de 3000 ha, con un consumo calculado de $2.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, de los cuales $1.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ se obtiene de derivaciones de aguas superficiales y $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de aguas subterráneas, por medio de 20 pozos profundos. Sin embargo, se estima que pequeños abastecimientos para riego privados utilizan entre 150 y 200 ls^{-1} para hacer un total de $2.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (DGRNR 1998). El sistema de derivación del Río Talnique posee una capacidad instalada para aportar un caudal de 58.08 ls^{-1} en el sistema de la presa Talnique II, situado en las cercanías del puente Ateos, carretera a Sonsonate, y la segunda derivación dentro del distrito de Zapotitán, posee dos sistemas de bombeos con capacidad de 140.78 y 149.02 ls^{-1} respectivamente, de esta manera puede aprovecharse un caudal cercano a los 350 ls^{-1} . (comunicación personal)². Para Canal Chuchucato no se tiene un estimado del caudal derivado en las dos represas en funcionamiento, este se estima en mayor de 150 ls^{-1} , de acuerdo a las mediciones del excedente en el presente monitoreo.

La distribución del uso de los suelos dentro del distrito durante el año 1989-90 muestra que durante la época de riego predominan los cultivos de maíz, papa, frijol y tomate, y en época de lluvia son el arroz, caña de azúcar y maíz; sin embargo, la caña de azúcar es el cultivo predominante durante época de riego actualmente (PRISMA 1998).

Con respecto al uso del suelo de la cuenca, cerca de un 85% de los suelos constituyen andisoles, donde se cultiva mayormente café bajo sombra, frutales y granos básicos, y cerca de 1547 ha (14%) son suelos aluviales recientes, cubiertos mayormente plantaciones de caña de azúcar, hortalizas, arroz y pastos.

Según la cartografía elaborada por el Programa Ambiental de El Salvador (PAES), un 77.75% de la tierra en la cuenca (8 554 ha) se encuentra cultivado bajo el sistema de café bajo sombra, desde alturas de 500 hasta los 1350 msnm; un 14.76% cubierto con cultivos anuales (1635,4 ha); las pasturas cubren 4,87% (536,6 ha); matorrales 0,0021 % (23 ha); caña de azúcar cubre el 0,0075% (78,68 ha) y área urbanizada un 1,58% (174 ha).

² Abarca, E. 2001. Distrito de riego de Zapotitán (Entrevista) DGRNR (MAG), San Salvador.

El uso potencial de la tierra en cada uno de los municipios está distribuido de la siguiente manera:

Cuadro 4. Uso potencial de la tierra en los municipios principales y aledaños a la cuenca del río Talnique, en porcentaje y área (km²).

Clases de Uso potencial de los suelos	Talnique	Jayaque	Tepecoyo	Sacacoyo	Ciudad Arce *
II	7,6 % (2,24)	6,5 % (3)	6,7 % (4)	-	13,5 % (11,4)
III	-	-	-	36,5 % (9)	51,7 % (43,8)
IV	-	-	-	1,7 % (0,4)	16,4 % (13,9)
V	-	-	-	-	3,9 % (3,3)
VI	92,4 % (27,1)	67,9 % (31)	1,5 % (0,9)	6,5 % (1,6)	4 % (3,4)
VII	-	25,5 % (11,8)	92 % (54,8)	55,3 % (13,6)	10,4 % (8,8)

* = incluye un sector del distrito de riego de Zapotitán.

Los principales cultivos agrícolas de la cuenca se concentran en granos básicos (maíz y frijol), caña de azúcar, café, hortalizas y pasturas, los cuales están sujetos al periodo de lluvias en la zona.

En el cuadro 4 se han incluido los cultivos de pepino, repollo, tomate, berenjena, zanahorias y rábano dentro de la categoría de hortalizas, y además en la mayoría de los municipios se reporta la crianza de aves de corral (SRN 1995)

La distribución de cultivos se encuentra dada por el número de caseríos entre los municipios que comprende la cuenca.

Cuadro 5. Cultivos principales en los caseríos de los municipios de la cuenca del Río Talnique, La Libertad.

	Talnique	Jayaque	Tepecoyo	Sacacoyo	Ciudad Arce ^{*3}
Maíz y frijol	5	16	8	9	5
Café	8	13	9	3	-
pecuario	-	4	-	2	2
Arroz	-	-	1	3	-
Hortalizas	-	2	-	1	2
Total de caseríos	8	17	10	9	6

Fuente: SRN (1995) elaborado en base a encuestas MIPLAN (1994)

En cuanto a la fertilización, en el caso de granos básicos incluye los compuestos ricos en nitrógeno como fórmula triple- 15; en plantaciones de café los más usados son fórmula triple 15, fórmula 16-20-0, y abono foliar (Bayfolan), y en caña de azúcar son sulfato de amonio y Urea (Saca 1986) y comunicación personal⁴ (Alvaro H.).

El cuadro 6 presenta las actividades generales durante los diferentes meses del año que se requieren en tres cultivos comunes en la zona de la cuenca y áreas aledañas, como es la caña de azúcar, café bajo sombra y granos básicos.

Las actividades presentadas son generales, pudiendo variar dentro de la misma cuenca según la condición climática local, capacidad económica del productor, prácticas agrícolas locales, entre otros.

³ El municipio de Ciudad Arce ubicado en la planicie del Valle de San Andrés comprende sectores del distrito de riego Zapotitán.

⁴ Alvaro H. 2001. Calidad de agua de fuentes rurales (entrevista) Asociación de Distribución Rural de Agua El Balsamar, Cantón Ateos Sacacoyo, La Libertad.

Cuadro 6. Actividades en principales cultivos agrícolas de la zona de la Cuenca del Río Talnique, La Libertad.

Meses	Caña de azúcar	Maíz y frijol	Café
Enero – febrero Época seca	Recolección de caña (zafra)	Tierras en barbecho	Corta de café Producción de aguas mieles Poda de cafetos
Marzo – Abril Fin de época seca		Preparación de tierras (quemados de restos y maleza)	Poda de cafetos
Mayo - Junio Inicio de época de lluvias	1ª. Fertilización (Aplicación de Urea/ Sulfato de Amonio)	Siembra y fertilización Control de malezas y plagas	Poda de sombra Siembra de plantíos Encalado (cal dolomita) Fertilización foliar (Bayfolán) 1ª. Fertilización (Fórmulas triple 15, 16-20-0) Control de malezas o deshierba, Control de plagas y enfermedades (roya o broca), aplicación de funguicidas, Endosulfán,
Julio – agosto Época lluviosa	2ª. Fertilización	Fertilización Cosecha	Control de malezas (peina o uso de herbicidas) 2ª. Fertilización Control de plagas
Septiembre – Octubre Fin de época lluviosa	Preparación de terrenos para la recolecta de caña	Cosecha	Control de malezas 3ª. Fertilización Control de plagas
Noviembre – Diciembre Época seca	Recolección de caña (zafra)	Tierras en barbecho	Control de malezas Corta de café Producción de aguas mieles

Fuente: Elaborado a partir de Boletines Técnicos 1 -- 3 PROCAFE (1996) y comunicación persona.⁵

⁵ Alvaro H. 2201. calidad del agua de fuentes rurales. (Entrevista). Asociación de Distribución Rural de Agua El Balsamar, cantón Ateos Sacacoyo, La Libertad.

La zona del Valle de San Andrés, la cual incluye la cuenca del río Talnique, constituye una de las zonas de producción avícola más importantes, aproximadamente un 30,84% de la producción avícola a nivel nacional, y específicamente un 44,16% de la producción de aves de engorde y 26,88% de huevos (PRISMA 1998).

El cuadro 7 muestra reportes de Saca (1986) dónde destacan algunas características de la actividad productiva agroindustrial en la zona, y de los vertidos que emanan de dichos procesos

Cuadro 7. Reportes de agroindustrias que aportan vertidos a las cuencas del Río Talnique, Ateos y Chuchucato.

Industria y Ubicación	Período de producción disposición de los desechos
Enlatadora de alimentos Ateos, Sacacoyo	21 600 de gal.día ⁻¹ mezclados con los de origen doméstico y drenan directamente al río Talnique, los residuos sólidos son incinerados
Beneficio Ateos Ateos, Sacacoyo	Octubre a febrero de cada año. El agua utilizada proviene del río Chuchucato, la pulpa es depositada en fosas y cubierta con cal y tierra, y utilizada como abono orgánico.
Fábrica de Duralita Carretera (CA8) a Sonsonate	Descarga a río Talnique
Tenería Ctón. Ateos, Sacacoyo	Se utilizan lagunas de sedimentación que drenan al río Talnique
Fábrica de concentrados Ctón. Los Sitios, Talnique	Laguna de retención que drena al río Talnique
Beneficio San Carlos Ctón. San Carlos, Talnique	Aguas mieles drenan a río Talnique, la pulpa se destina para abono
Beneficio Chagüite Ctón. Las Flores, Jayaque	Las aguas mieles son colocadas en lagunas de retención, posterior drenan al río Talnique. La pulpa se incorpora a los terrenos
Beneficio Paraíso Jayaque	Las aguas mieles se disponen en tanques de sedimentación y luego en lagunas de retención, drenaje al río Talnique, la pulpa se destina para abono
Beneficio Niágara Ctón. Los Sitios, Jayaque	Proceso semejante al anterior

Con respecto a las descargas aguas negras de los municipios dato proyectados citados por Saca (1986), determinan un mayor aporte de Tepecoyo y Jayaque, en comparación con otros municipios de la zona, los volúmenes estimados son los siguientes:

Cuadro 8. Caudal estimado ($m^3 \cdot día^{-1}$) de descarga de aguas negras de los municipios de la cuenca del río Talnique, La Libertad.

Municipio	Año 1990	Año 2000
Talnique	621	725
Jayaque	1 026	1 189
Tepecoyo	1 422	1 773
Sacacoyo	879	1 203
Otros municipios aledaños		
Colón	3 907	5 344
Ciudad Arce	4 772	6 466

3.2.2 Localización de Estaciones de Estudio

La determinación de los tramos representativos sobre la corriente principal del Río Talnique fue establecida de acuerdo a antecedentes recabados por el Programa PAES, se tomó en cuenta la presencia de elementos como drenajes de poblados y de industrias, los tributarios permanentes más importantes, áreas de usos críticos del río, entre otros. Además se escogieron los principales drenajes de los tributarios principales para obtener las lecturas de calidad y cantidad de agua. La ubicación de la red de sitios para la evaluación se muestra en el Cuadro 9 y la Figura 2.

Cuadro 9. Ubicación de sitios de estudio para evaluación de calidad de agua en la cuenca del Río Talnique, La Libertad.

Sectores o tramos	Código	Descripción de las corrientes
1 Drenaje Río Talnique	E01 Talnique	Posee 7,2 km de recorrido, aguas corrientes, utilizado como punto de referencia (0) para medir distancia del resto de estaciones.
2 Drenaje de Río Niágara	E02 Niágara	Recorre 2,0 km., aguas corrientes.
3 Cauce principal Río Talnique	E03 San José Sitios	Ubicado a 1,1 km del punto de unión entre los drenajes de Talnique y Niágara, antes de Caserío San José Sitios.
4 Cauce principal Río Talnique	E04 Talnique	Ubicado a 4,7 km del punto de referencia, a inmediación de granjas avícolas.
5 Drenaje Río Ateos	E05 Ateos	Desembocadura a 6,3 km, a la altura de caserío Ateos, Sacacoyo.
6 Cauce principal R. Talnique	E06 Talnique	Ubicado a 9,5 km del punto de referencia. Distrito de riego Zapotitán
7 Drenaje Canal Chuchucato	E07 Chuchucato	Desembocadura a altura de puente Talnique. A 9,7 km del punto de referencia, dentro del Distrito Zapotitán.
8 Cauce principal Río Talnique	E08 Talnique	Desembocadura sobre Río Sucio. A 12,7 km. del punto de referencia, dentro del Distrito de riego Zapotitán.

3.2.3 Frecuencia de recolección de muestras de agua y parámetros evaluados

Las mediciones mensuales de calidad del agua fueron realizadas en el período comprendido entre marzo y junio de 2001, que corresponde al final del período seco e inicio de las lluvias en la zona del Valle de San Andrés.

Se establecieron ocho estaciones de medición en la cuenca del Río Talnique: tres en los tributarios principales y cinco sobre el cauce principal. Las mediciones físico-químicas de campo fueron realizadas mediante las rutinas de colecta ejecutada por la unidad de monitoreo de cuencas (UMC) del Programa Ambiental PAES.

FIGURA 2

Estaciones de Medición en Río Talnique y Tributarios

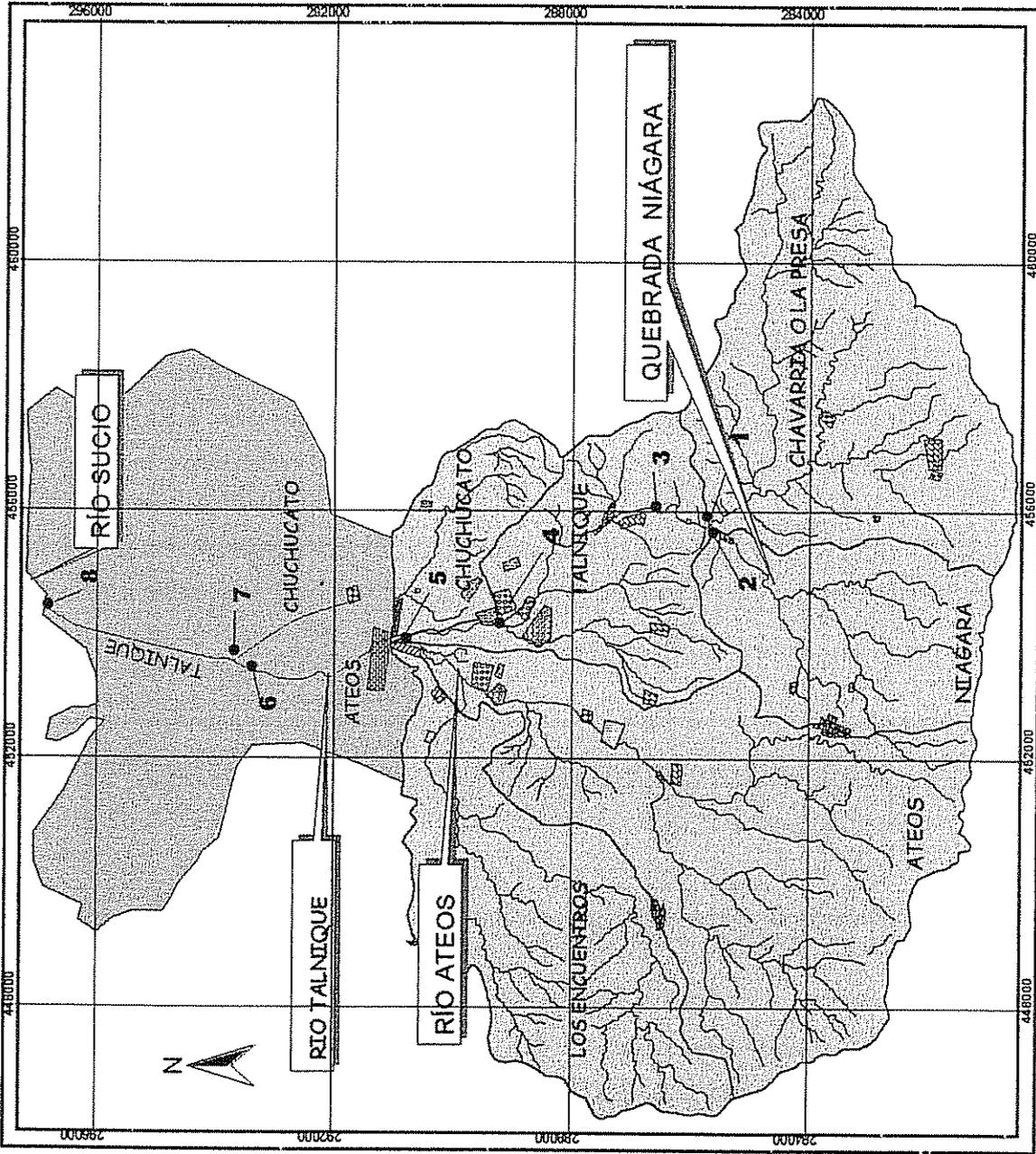
- Estaciones
- Red Hidrica
- Infraestructura
- ▨ Beneficios
- ▧ Cantones
- ▩ Granjas
- Parcelación
- Plantas
- ▬ Pozos
- ▭ Terraceria
- ▮ Tenencia
- ▯ Poblados
- ▰ Corredor Ind
- ▱ Establo
- ▲ Lofificación
- △ Microcuencas
- ▴ Distrito de Riego de Zapotitán
- ▵ Subcuenca Río Talnique

Fuente: Programa Ambiental para El Salvador (PAES), CATIE, Trabajo de Campo.

Preparó: Mario Sagastizado
Cartografía Digital y SIG:
Geog. Christian Brenes

Proyección: Cónica Conforme de Lambert para El Salvador

1000 0 1000 Metros



Se utilizó un equipo portátil marca HORIBA, para la determinación de los parámetros siguientes: Temperatura del agua (°C), Oxígeno Disuelto (mg/l), Potencial de Hidrógeno (pH, unidades de 1-14); Turbidez (Unidades Nefelométricas Técnicas, NTU) y Conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$). Se colectaron muestras de agua en cada uno de los sitios para análisis de elementos y compuestos contaminantes; se utilizaron depósitos de polietileno, bolsas estériles y frascos de vidrio color ámbar, según el requerimiento y análisis; y se mantuvieron en refrigeración a 4° C, hasta la entrega de las muestras en el Laboratorio de Aguas de la Dirección General de Recursos (DGRNR/MAG). Los análisis físico-químicos realizados fueron los siguientes:

Cuadro 10. Análisis químicos de laboratorio efectuados en muestras de agua del Río Talnique y tributarios.

Análisis	Método
Oxígeno disuelto (mg/l)	titulación Winkler
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	método estándar
Nitrógeno de Nitratos (NO ₃ , mg/l)	Reducción con Cadmio
Fósforo total (mg/l) Fósforo de ortofosfato	Digestión con Acido Persulfato
Sólidos totales, suspendidos y disueltos (mg/l)	Gravimétrico
Cloruros (mg/l)	Mohr
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	Nessler 425 nm
Coliformes Totales y Fecales NMP/100 ml	Fermentación de tubo multiples (Bacteriological Analytical Manual)

Además, se efectuaron mediciones hidrométricas en cada sitio de colecta de para obtener el caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s), en cada tramo de la corriente, mediante el Método de Vadeo, se utilizó un Molinete modelo AOTT # 141814 y una cuerda graduada en metros, para obtener los registros de ancho del canal, profundidad, velocidad de la corriente y posterior calcular los caudales respectivos. Se calculó la carga de materiales contaminantes (en kilogramos por día, Kg/día) de cada uno de lo tributarios del Río Talnique, los cálculos se efectuaron para los materiales de arrastre, como sólidos en suspensión y disueltos; nutrientes, como Nitratos y Fósforo; material orgánico biodegradable, (DBO_{5,20}) y minerales (Cloruros).

La relación se expresa así: $I = f \times c \times d$, donde:

I = la carga total de contaminantes ($\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$)

f = factor de conversión de unidades (86.4 para transformar mg/l ó ppm en $\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$)

c = concentración determinada (mg/l)

d = es la descarga o caudal ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Se aplicó análisis estadístico descriptivo a los parámetros de calidad, correlación canónica (análisis multivariado) entre las mediciones de caudal, velocidad y tiempo, con el resto de parámetros de naturaleza química por medio del programa SAS versión 8 para Window, además se comparó con los valores guías de normas de calidad para agua potable, riego y condiciones de vida acuática.

Se elaboraron mapas de uso general de la tierra y la ubicación de la infraestructura importante en el área de la cuenca con la información cartográfica proporcionada por el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) del Programa Ambiental PAES y del CATIE por medio del programa ArcView 3.2, se delimitaron las principales subcuencas que conforman el sistema del río Talnique.

3.3 RESULTADOS

A continuación se presentan los principales resultados sobre la calidad físico química de las aguas tanto en los drenajes de las subcuencas como en la trayectoria principal del Río.

3.3.1 Condiciones físico-químicas de las aguas

Potencial de Hidrógeno (pH): constituye la medida de acidez o basicidad de las aguas, los valores obtenidos se mantuvieron por arriba de 7. En cuanto a los sitios sobre el cauce principal, existe poca variación de los valores promedios, (Fig.3a, 4), un leve incremento es notable a partir de la zona posterior a la desembocadura del río Ateos y descargas del caserío Ateos, a la altura del Distrito Zapotitán. Entre los tributarios (Cuadro 11), el Canal Chuchucato (E07) presentó los valores más alcalinos ($7,7 \pm 0,1$), mientras que Niágara (02) presentó valores cercanos a condiciones neutras ($7,34 \pm 0,14$).

Oxígeno Disuelto (OD): los mayores valores se determinaron en las estaciones del tramo superior de la corriente, con mediciones cercanas a 10,0 mg/l, (Fig. 3b, 4), mientras que las menores concentraciones se ubican en los sectores de la parte baja de la cuenca que corresponden al trayecto por el Distrito Zapotitán (E06), donde hubo una caída hasta valores mínimos de 4,4 mg/l. Entre los tributarios el drenaje de la Quebrada Niágara (E02) alcanzó valores de $7,8 \pm 0,5$ mg/l; el Río Ateos (E05) obtuvo $7,2 \pm 1,8$ mg/l mientras que el canal Chuchucato redujo sus concentraciones a $6,4 \pm 0,9$ mg/l.

Temperatura (°C): en el canal principal de Talnique, las temperaturas más bajas se ubicaron en los tramos superiores del cauce, Talnique E01 y San José Los sitios E03, con $22,1 \pm 1,2$ y $24,7 \pm 0,7$ °C, respectivamente, también en la desembocadura del Río Talnique (E08) se alcanzó en promedio valor de $23,9 \pm 1,6$ °C. La mayor temperatura se ubicó en el tramo de la estación Talnique (04), con valor promedio de $29,5 \pm 1,7$ °C, ubicada a una distancia de 4,7 km, de la estación de referencia.

Conductividad (μ mhos/cm): entre las primeras tres estaciones (Fig 3d, 4), en el tramo superior de la corriente, los valores fueron muy cercanos entre sí, con $202 \pm 2,8$ y $183 \pm 3,8$ μ mhos/cm en las estaciones Talnique (E01) y Talnique (E04) respectivamente. Los tramos inferiores mostraron un incremento de esta variable hasta valores de $372 \pm 81,7$ y $474 \pm 118,6$ μ mhos/cm en el tramo del Distrito Zapotitán (E06) y Desembocadura (E08), a una distancia de 9,5 y 12,7 Km desde su origen.

En cuanto a los tributarios, Niágara (02) presenta una concentración semejante a las estaciones sobre el canal principal con $180,7 \pm 5,3$ μ mhos/cm; mientras que Ateos alcanzó $231,5 \pm 33$ y Canal Chuchucato alcanza valores máximos de $674,2 \pm 181,7$ μ mhos/cm.

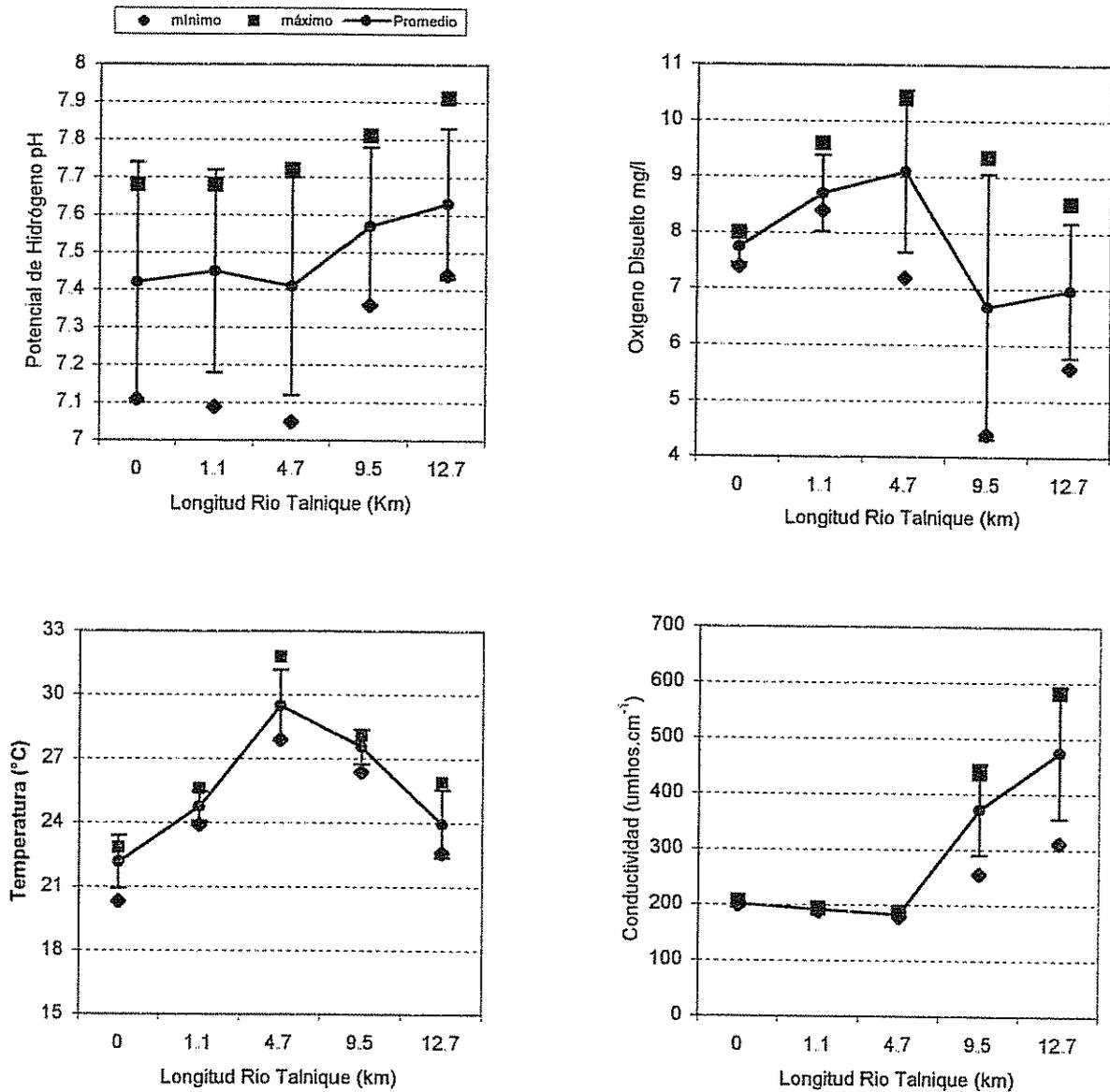


Figura 3. Valores mínimos, máximo, promedio y desviación estándar de los Parámetros físico – químicos: potencial de Hidrógeno, oxígeno disuelto, Temperatura y Conductividad eléctrica, en cauce principal del Río Talnique, marzo - junio del 2001.

El cuadro 11 muestra los valores de los parámetros físico-químico para los drenajes de las subcuencas principales del Río Talnique:

Cuadro 11. Parámetros físico-químicos de tributarios de la cuenca del Río Talnique (promedio \pm desviación estándar), marzo-junio del 2001.

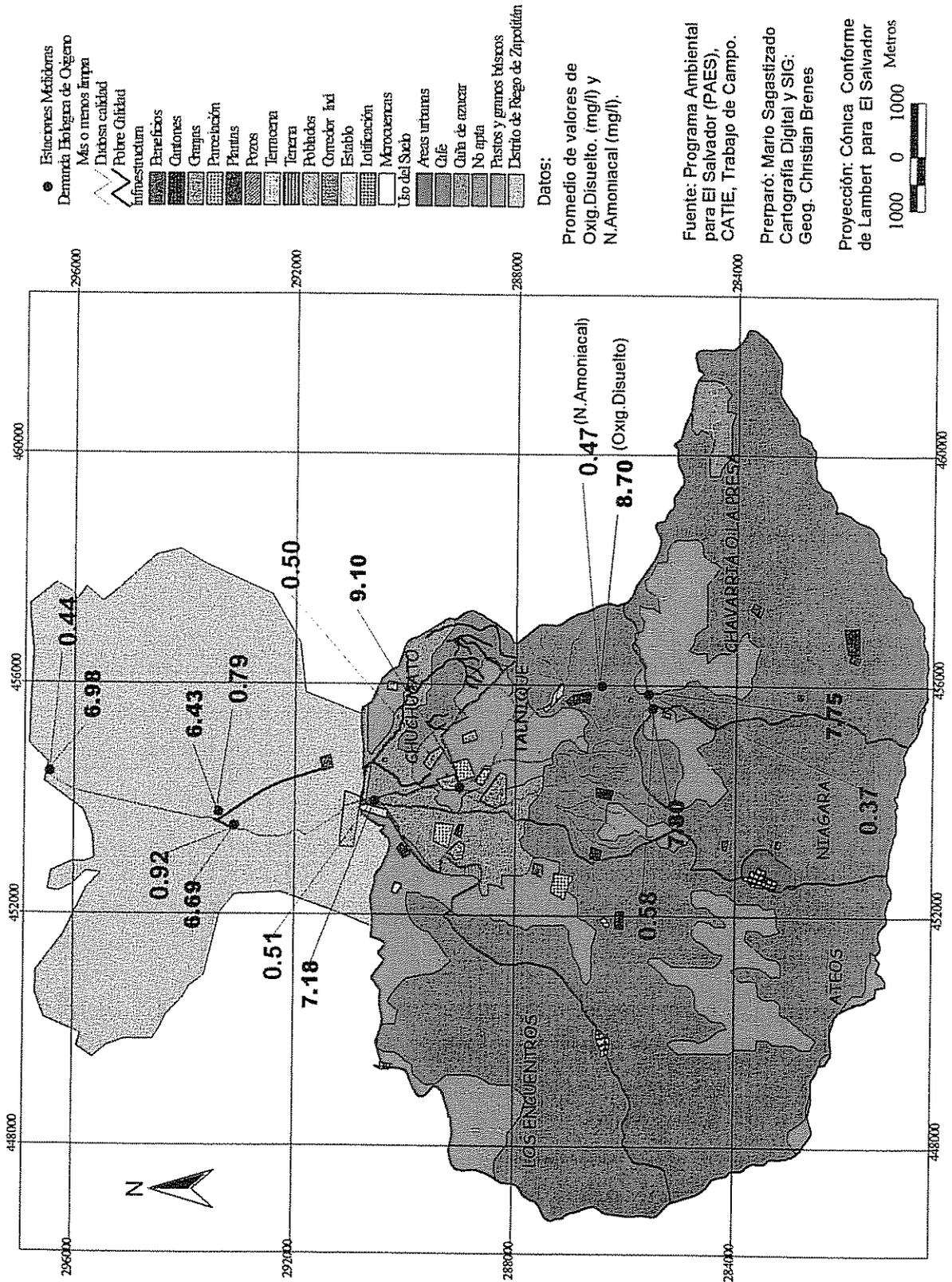
Parámetro	Potencial de Hidrógeno (1-14)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)	Conductividad (μ mos/cm)	Turbidez NTU Rango
Quebrada Niágara (E02)	7,3 \pm 0,1	7,8 \pm 0,5	21,9 \pm 1,4	180,7 \pm 5,3	2 – 79
Río Ateos (E05)	7,5 \pm 0,3	7,2 \pm 1,8	27,1 \pm 0,4	231,5 \pm 33	4 – 1000
Canal Chuchucato (E07)	7,7 \pm 0,1	6,4 \pm 0,8	26,2 \pm 0,9	674,2 \pm 181,7	7 - 13

Turbidez: los valores de la Turbidez (NTU, Unidades Nefelométricas Técnicas), presentaron una alta variabilidad en las mediciones efectuadas y no se determinó una tendencia clara en los datos recabados (Cuadro 11). En el canal principal los menores valores se presentaron en la cercanía de la desembocadura de Talnique con el Río Sucio (E08). El tramo en el Distrito Zapotitán (E06) presentó el mayor valor de turbidez con valores máximos cercanos a 496 NTU en la colecta de junio/01, época influenciada por las lluvias en la zona; entre los tributarios, el Río Ateos (E05) aparece con valores máximos cercanos a 1000 NTU en junio/01; Canal Chuchucato (07) presentó condiciones más estables con respecto a este parámetro, con un promedio de 10 \pm 2,6 NTU, siendo la estación con los más bajos niveles de turbidez de todos los sectores analizados en la cuenca, mientras que quebrada Niágara alcanzó 79 NTU durante junio, el resto de meses se mantuvo por debajo de 6 NTU.

3.3.2 Determinación de contaminantes convencionales

Los resultados de las variaciones de los parámetros químicos analizados como DBO⁵, cloruros, dureza, alcalinidad, nitrato, fosfato, y bacterias coliformes fecales, se presentan en el Cuadro 12 y Figura 5 .

Figura 4



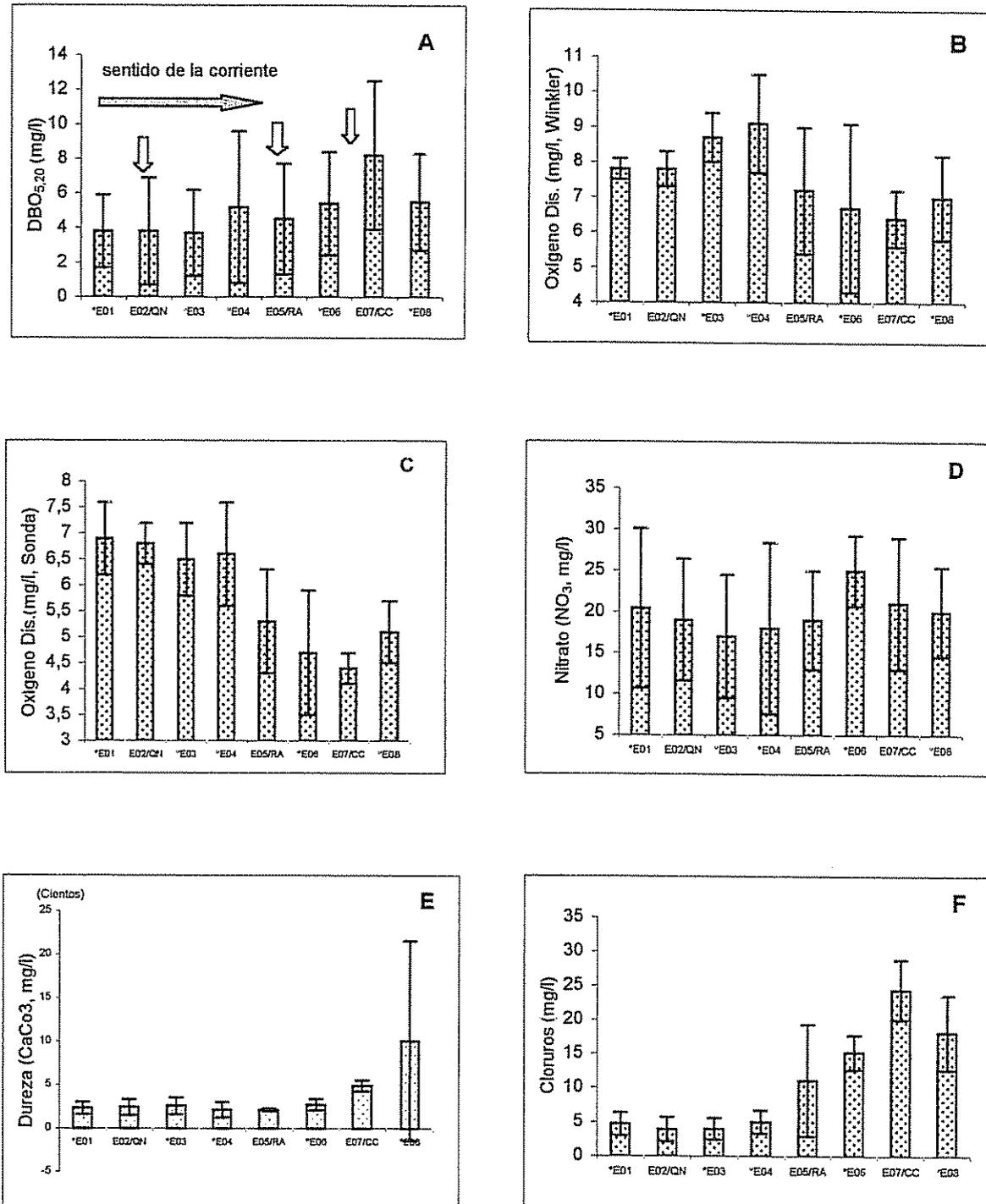


Figura 5. Promedio y Desviación estándar de los parámetros de calidad en la cuenca del río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001.

*: Estaciones sobre cauce principal. QN: Quebrada Niágara, RA: Río Ateos, CC: Canal Chuchucato. Las flechas indican la descarga de los tributarios

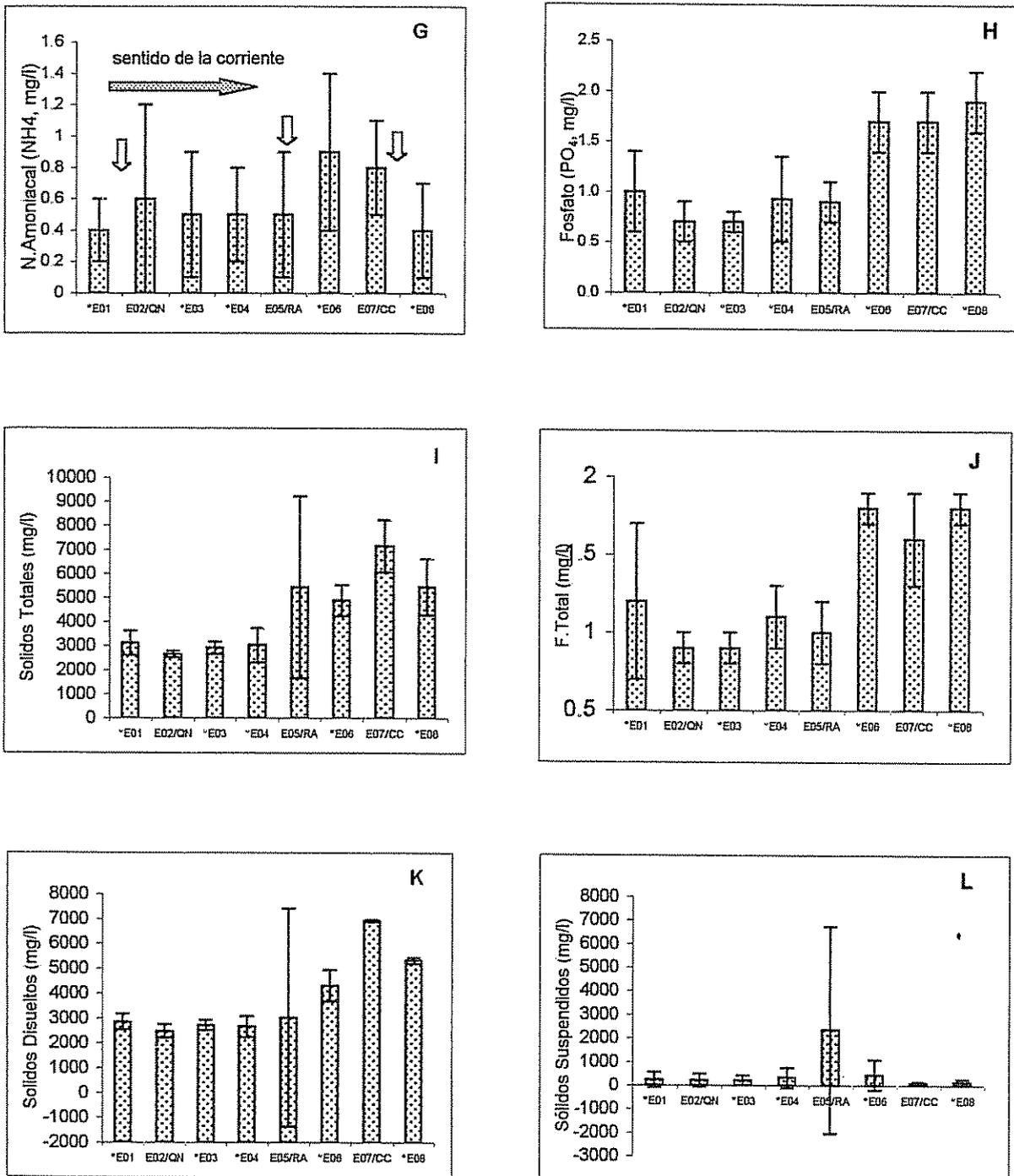


Figura 5. Promedio y Desviación estándar de los parámetros de calidad en la cuenca del río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001.

*: Estaciones sobre cauce principal. QN: Quebrada Niágara, RA: Río Ateos, CC: Canal Chuchucato. Las flechas indican entrada de tributarios.

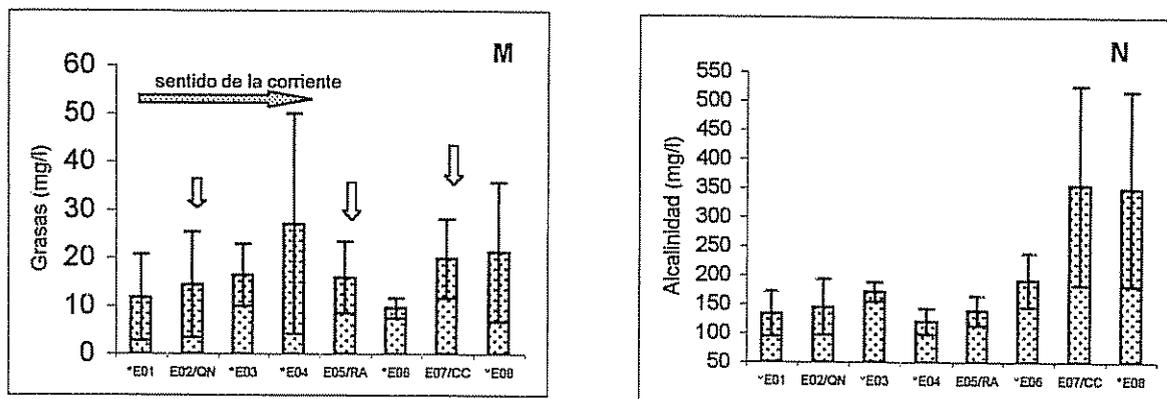


Figura 5. Promedio y Desviación estándar de los parámetros de calidad en la cuenca del río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001.

*: Estaciones sobre cauce principal. QN: Quebrada Niágara, RA: Río Ateos, CC: Canal Chuchucato. Las flechas indican la entrada de los tributarios.

Cuadro 12. Ambito de concentración de Coliformes Fecales y Totales en Estaciones del Río Talnique y Tributarios.

Estaciones							
*E01	E02/QN	*E03	*E04	E05/RA	*E06	E07/CC	*E08
Coliformes Fecales NMP/100 ml							
240	2400	43	4600	900	14	933	933
24000	24000	9300	21000	24000	9300	11000	1500
Coliformes Totales NMP/100 ml							
1500	11000	460	21000	11000	933	4600	11000
460000	150000	110000	110000	46000	4600	150000	24000

La lectura de contaminantes señaló variaciones a lo largo del cauce principal y entre las descargas de los drenajes. Los sectores superiores aparecen como más estables con respecto a su comportamiento químico en comparación con los sectores inferiores del río (Fig. 5). Este fenómeno se observó en las estaciones E01 hasta E04, las cuales presentaron promedios muy cercanos entre sí, como por ejemplo en Demanda de Oxígeno, Nitratos, Dureza, Cloruros, Sólidos totales y disueltos (Fig. 5, A,D,E,F,I,K). Las aguas poseen mejores niveles de oxígeno en solución, los dos métodos utilizados (Winkler y Sonda) para su medición muestran la misma tendencia. En cambio en los sectores intermedios e inferiores del cauce se muestra un incremento notable en la concentración de la mayoría de parámetros y un empobrecimiento moderado a severo de los niveles de oxigenación de sus aguas. Entre los sectores que presentan estas anomalías están el sector de Zapotitán (E06) y la desembocadura del río (E08).

Entre los tributarios como Quebrada Niágara, Río Ateos y Canal Chuchucato, éste último presentó condiciones desfavorables en su desagüe, como se observa en la mayoría de parámetros analizados. El río Ateos también mostró una alta variabilidad en las lecturas químicas mensuales, y en cuanto al aporte de partículas (sólidos totales y en suspensión, Fig. 5 I,J,L) constituye una de las principales fuentes puntuales hacia el cauce del río Talnique.

El estado de degradación de la calidad reflejada parcialmente por los indicadores químicos ubica las anomalías de la contaminación orgánica en la parte baja de la cuenca, en donde este proceso parece más acentuado, sin embargo parámetros como el oxígeno disuelto parece recuperarse levemente al final de la corriente, lo cual indica cierta capacidad de depuración natural del sistema acuático. Los datos indican que los sectores de la cuenca previo al distrito de riego como la desembocadura del Río Ateos y las zonas aledañas, presenta mayor concentración de fuentes puntuales de contaminación lo cual impacta las características del agua.

3.3.3 Mediciones Hidrológicas

Lo relevante sobre las mediciones de caudal y velocidad de las corrientes, es que logran reflejar las condiciones de los caudales de base o de estiaje del final de la época seca, y un aumento de agua hacia el final del muestreo que coincidió con el inicio de la época lluviosa en la zona (junio/2001). La Figura 6 muestra los valores promedios de velocidad para el tramo principal del río Talnique y el caudal mensual medido a lo largo del canal.

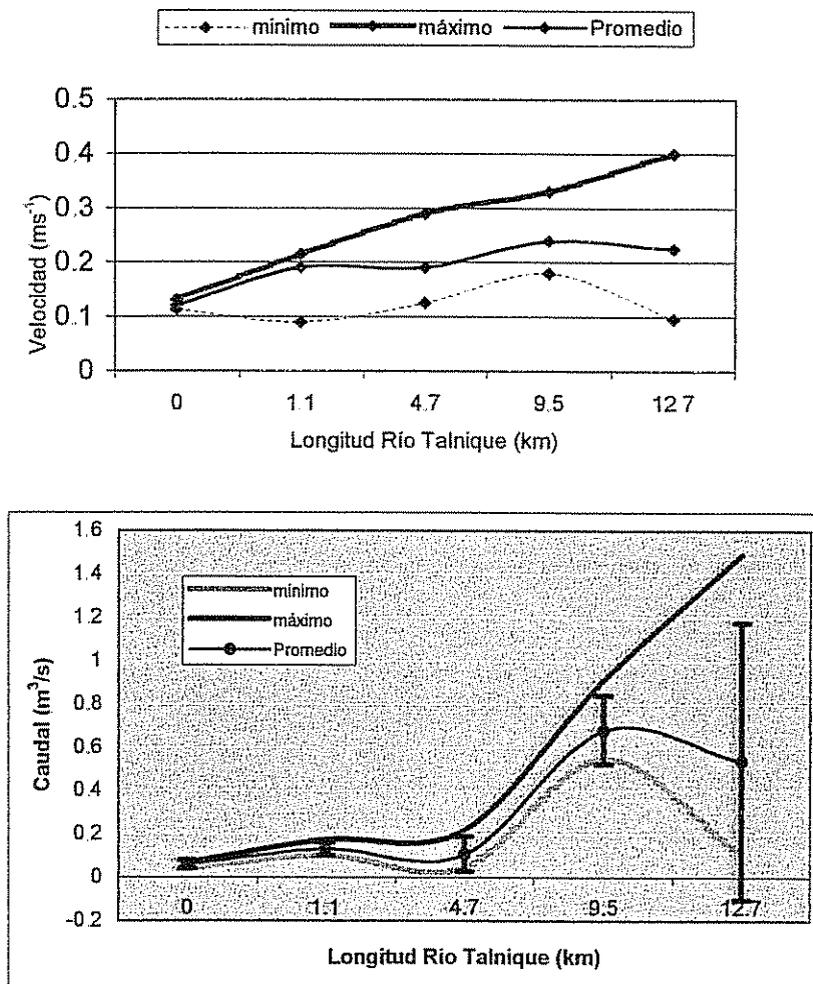


Figura 6. a) valores mínimos, máximo y promedios de velocidad de la corriente (ms^{-1}) b) valores mensuales de Caudal (m^3s^{-1}) en estaciones de canal principal de río Talnique), marzo – junio del 2001.

Se observó que en la parte alta de la cuenca la cantidad de agua de drenaje se mantuvo muy constante entre las distancias de 1.1, 4.7 y 9.5 km.; las oscilaciones entre marzo y junio no son muy variables, el incremento del caudal en el tramo a 9.5 Km de recorrido está asociado a la entrada de tributarios como Ateos y drenajes de aguas domésticas del caserío Ateos; en la desembocadura del río (Zapotitán) fue notable un aumento del caudal de hasta $1.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ durante junio/2001, asociado a la lluvia previa al muestreo.

El río Ateos aportó mayor caudal al cauce principal durante el tiempo analizado (Cuadro 13), sus valores oscilaron entre 0.127 a $0.361 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En el caso de Canal Chuchucato, el caudal medido correspondió al excedente liberado por las bocatomas del sistema de riego, los valores registrados oscilaron entre 0.049 a $0.203 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, en los meses de lluvia, la necesidad de agua para el riego disminuye y el flujo de dicho canal se normaliza.

Cuadro 13. Caudal (m^3s^{-1}) y Velocidad (ms^{-1}) en los drenajes de los tributarios del Río Talnique, marzo – junio del 2001.

Mes	Quebrada Niágara (E02)		Río Ateos (E05)		Canal Chuchucato (E07)	
	caudal	velocidad	caudal	velocidad	caudal	velocidad
Marzo	0.050	0.157	0.127	0.121	0.098	0.200
Abril	0.037	0.195	0.134	0.157	0.049	0.199
Mayo	0.098	0.415	0.275	0.160	0.085	0.246
Junio	0.044	0.250	0.361	0.220	0.203	0.420

La velocidad mostró un comportamiento similar al caudal en el cauce principal, esta fue menor en la cabecera del río (estaciones 01 y 03) y aumentó hacia el final del recorrido (Desembocadura), pero en promedio es muy semejante en la mayor parte del trayecto (Figura 6b), los valores máximos en la velocidad corresponden a la medición de junio/2001, cuando se presentó una mayor escorrentía en la zona, esto es más evidente a

partir de la sección de Talnique (E04) a 4.7 km de distancia recorrida, a esta altura la corriente lleva más velocidad y su carga de sedimentos es mayor; entre los tributarios la velocidad se incremento también con un aumento de caudal (Cuadro 13).

3.3.4 Transporte de materiales contaminantes en el cauce principal y tributarios.

Mediante los valores de caudal (m^3/s) y la concentración de los parámetros DBO, Nitrato y Fósforo Total, en mg/l , se obtuvo la carga de materiales contaminantes en kilogramos por día ($kg.día^{-1}$), transportados por las diferentes corrientes, así como la carga aportada por los drenajes al cauce principal (Cuadro 14), el factor (f) utilizado para la transformación fue 86,4 para obtener $kgdía^{-1}$, según la relación (1): $I = c \times d \times f^6$ citada por (IHD-WHO 1978).

Material orgánico biodegradable (DBO'5). Los tramos superiores del río Talnique, es decir, entre la estación Talnique E01 y San José Los Sitios E04, transportaron una carga menor que en las secciones a la altura del Distrito de Zapotitán y la desembocadura del río, en promedio, las estaciones Talnique E01, San José Los Sitios E03 y Talnique E04, presentaron $17,6 \pm 12,3$, $41,3 \pm 22,9$ y $43,6 \pm 34,2$ $kgdía^{-1}$ de DBO, respectivamente; mientras que en los tramos inferiores, la cantidad de materia orgánica aumentó considerablemente, se alcanzaron promedios de 311 ± 177 y 189 ± 185 $kgdía^{-1}$ en el Distrito Zapotitán y desembocadura sobre río Sucio. La mayor carga transportada en el río correspondió a los eventos de lluvia en junio/2001 (Cuadro 14, Fig. 13). Río Ateos, contribuyó con $71,5 \pm 40$ $kgdía^{-1}$, Canal Chuchucato, con 48 ± 21 y finalmente Quebrada Niágara, aportó $17,5 \pm 13$ $kgdía^{-1}$ de material biodegradable en el período de muestreo de marzo a junio de 2001.

Carga de Nitratos (NO_3): En la corriente principal de Talnique, el transporte de los Nitratos aumentó a medida el agua avanzó hacia las secciones inferiores de la cuenca (Cuadro 5, Fig. 13).

⁶ I = carga de materiales en $kg día^{-1}$; c = concentración determinada del contaminante, en mg/l o ppm ; d = es la descarga o caudal, en $m^3 s^{-1}$; f = factor de conversión de unidades (86 4 para transformar mg/l o ppm en $kg.día^{-1}$)

Las concentraciones en promedio en la parte alta, oscilaron entre: $108,7 \pm 79$, $206,4 \pm 111$ y 173 ± 139 kgdía^{-1} , en cambio en los sectores del distrito Zapotitán y la desembocadura, la cantidad de nitratos transportada ascendió a 1518 ± 643 y 1102 ± 1565 kgdía^{-1} respectivamente. Río Ateos (05) fue el drenaje con mayor carga de nitratos en sus aguas, el promedio fue de $378 \pm 281,3$ kgdía^{-1} ; posterior, se encontró Canal Chuchucato, con $203,6 \pm 221,3$ kgdía^{-1} y $105 \pm 87,4$ kgdía^{-1} , en Quebrada Niágara.

Cuadro 14. Carga de materiales biodegradables (Demanda Biológica de Oxígeno, DBOs), Nitratos y Fósforo Total en kgdía^{-1} en estaciones sobre el canal principal tributarios, marzo a junio /2001.

Estacion R. Talnique	Carga DBO kgdía^{-1}		Nitratos (NO_3) kgdía^{-1}		Fósforo Total kgdía^{-1}	
	Promedio	Des. Estándar	Promedio	Des. Estándar	Promedio	Des. Estándar
01 (Est. Referencia)	17,6	12,3	108,7	79	5,3	2,1
03 Talnique (1.1 km)	41,3	22,9	206,4	111	10,9	2
04 Talnique (4.7 km)	43,6	34,2	173	139	84	149
06 Talnique (9.5 km)	311	177	1.518	643	107,8	22
08 Talnique (12.7 km)	189	185	1 102	1 565	78	90
Tributarios	Carga DBO kgdía^{-1}		Nitratos (NO_3) kgdía^{-1}		Fósforo Total kgdía^{-1}	
Cuenca Talnique	Promedio	Des. Estándar	Promedio	Des. Estándar	Promedio	Des. Estándar
Niágara 02	17,5	13	105	87,45	4,7	2,8
Ateos 05	71,5	40	378,4	281,3	20,34	11,2
Chuchucato 07	48	21,6	203	221,3	13	9

Carga de Fósforo Total: Las concentraciones encontradas por este compuesto presentan semejante comportamiento con respecto a los Nitratos, es decir, existe un mayor carga de fósforo en la zona baja de la corriente (Fig. 13); mientras que en las estaciones 01 y 03 se transportaron entre $5,3 \pm 2,1$ y $10,9 \pm 2$ kgdía^{-1} de fósforo total, a partir de la estación 04 se incrementó en promedio hasta 84 ± 149 , en 06 Talnique se calcularon $107,8 \pm 22$ kgdía^{-1} y en el tramo final del río se redujo a 78 ± 90 kgdía^{-1} .

Entre los tributarios, Ateos (05) aportó la mayor carga de fósforo, con un valor de 20,3 kgdía⁻¹, posterior Canal Chuchucato y Quebradas Niágara con 13 ± 9 y 4,73±2,8 kgdía⁻¹. respectivamente.

3.3.5 Correlación y Análisis Canónico entre variables Físico químicas e hidrológicas.

El análisis de correlación simple entre las variables de calidad y con factores como caudal, velocidad y tiempo (relacionado con el apareamiento de precipitación) de terminó relaciones importantes con los parámetros de calidad.

Las correlaciones entre los parámetros de calidad se presentan en el cuadro 15 y corresponde a la información recolectada en el canal principal del río Talnique:

Cuadro 15. Correlaciones simples entre variables de calidad físico – química y velocidad y caudal de las corrientes en Canal principal del Río Talnique, La Libertad.

	Cloruros	Dureza	Alcalinidad	Sólidos Suspendidos	Sólidos Disueltos	Conductividad	Caudal
Dureza	0.55	*	*	*	*	*	*
Alcalinidad	0.70	0.51	*	*	*	*	*
Sólidos Suspendidos	- 0.44	-0.37	-0.39	*	*	*	*
Sólidos Disueltos	0.66	0.35	0.74	-0.04	*	*	*
Conductividad	0.78	0.47	0.70	-0.21	<u>0.84</u>	*	*
Caudal	0.48	0.27	0.43	0.09	0.64	0.43	*
Velocidad	0.03	0.07	0.0	0.34	0.21	0.10	0.58

Las asociaciones más significativas se encontraron entre las partículas disueltas o suspendidas con los parámetro indicadores de riqueza química del agua, mientras el análisis canónico (cuadro 16) entre el conjunto de variables de carácter hidrológico como caudal (m³s⁻¹), velocidad de la corriente (ms⁻¹) y el mes de muestreo, se asoció con las variables Demanda Biológica (DBO₅), Oxígeno Disuelto(OD), Cloruros (Cl), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Disueltos (SD) y Alcalinidad (CaO₃).

Los resultados determinaron una probabilidad de 0.86, en que las variables hídrica explicaron el comportamiento de las variables químicas analizadas, con una significancia de $\alpha < 0.05$. El Coeficiente canónico estandarizado obtenido por cada parámetro dentro de las variables canónicas fue el siguiente:

Cuadro 16. Coeficientes de la correlación canónica entre variables de naturaleza físico – química con las mediciones de caudal, velocidad y mes de muestreo.

Parámetros químicos	Variable canónica U_1 Coeficiente estandarizado de correlación	Parámetros hidrológicos	Variable canónica V_1 Coeficiente estandarizado de correlación
DBO	-0.679	Tiempo (Meses)	1.05
OD	-0.056	Caudal	0.172
Cloruros	-0.238	Velocidad	-0.307
Sólidos Suspendidos	0.708		
Sólidos Disueltos	0.46		
Alcalinidad	-0.229		

Se determinaron asociaciones significativas entre las variables de calidad y las características de la corriente como el caudal y la velocidad sobre todo lo relacionado con partículas disueltas o en suspensión en el agua (Cuadro 15)

Durante la tercera y cuarta campaña de monitoreo la precipitación provocó cambios sobre algunas propiedades del agua, principalmente en el aumento de caudal, la figura 7 muestra los días con ocurrencia de precipitaciones registrada en la parte alta de la cuenca, durante las semanas que correspondieron a los muestreos de aguas, lo que determina cambios en las condiciones del agua debido al arrastre de materiales en las cuencas de drenaje del canal principal, de esta forma el caudal explica un 64% del comportamiento de los sólidos disueltos, a su vez la concentración de cloruros es otra medida muy importante pues determinó la variación de mediciones como dureza en un nivel de $r = 0.55$, alcalinidad con un $r = 0.70$, sólidos disueltos con un $r = 0.66$ y conductividad con $r = 0.78$; la alcalinidad mostró una asociación positiva con la cantidad de sólidos Disueltos, $r = 0.74$ y conductividad, $r = 0.70$.

Los sólidos disueltos determinaron significativamente los niveles de conductividad con un $r = 0.84$, siendo la correlación más fuerte entre las variables analizadas, relación señalada por Hem (1984) y IHD-WHO (1978) como muy particular dentro del análisis del comportamiento de las propiedades del agua.

Entre otras variables como nitratos, oxígeno, demanda biológica, temperatura, no se presentaron asociaciones significativas en las condiciones del cauce principal del Río Talnique

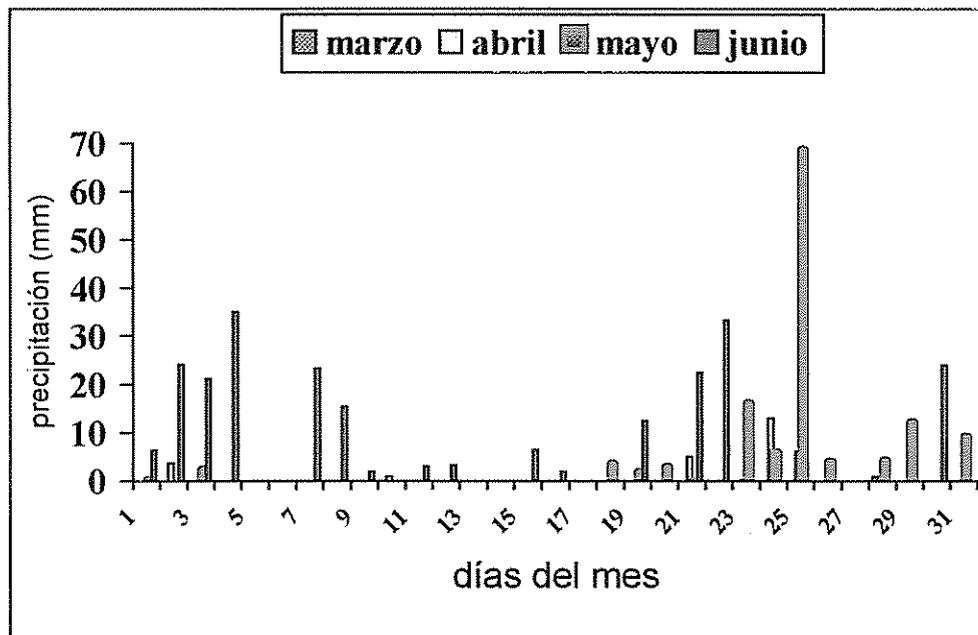
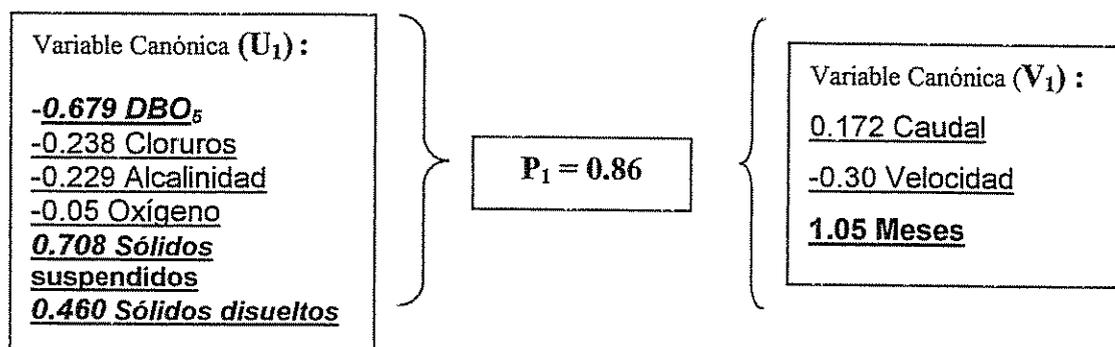


Figura 7. Lluvia diaria de marzo a junio de 2001 Estación Finca Montenegro, Jayaque. Fuente: PROCAFÉ, 2001

De esta manera las variables conductividad eléctrica, sólidos disueltos y cloruros, constituyen importantes mediciones para la interpretación del comportamiento químicos de las aguas, la conductividad ha resultado ser muy sensible para la predicción de cambios en el uso de las tierra en las cuencas según Dow y Zampella (2000), el análisis de regresión entre ambas medidas determinó la asociación siguiente:

$Cond. = -81.16 + 0.1 \text{ Sólidos Disueltos}$ (coeficiente de determinación $r^2 = 0.93$, $p < 0.001$)

El análisis multivariado de correlación canónica, integrando las variables hidrológicas y el efecto de la precipitación (variable canónica U_1) determinó una asociación del 86%, altamente significativa ($\alpha < 0.05$) sobre el conjunto de parámetros químicos significativos (variable canónica V_1) como sólidos disueltos, sólidos suspendidos, cloruros, alcalinidad, oxígeno disuelto y demanda de oxígeno disuelto. Los coeficientes canónicos estandarizados dentro de cada conjunto de variables fueron los siguientes:



Dicha asociación determinó que si existió una correlación global entre el conjunto de variables hidrológicas con las variables de naturaleza química correlacionadas, a tal grado de que las variaciones de estas últimas son explicadas en un 86% por las variables hidrológicas. Además dentro de las variables químicas (U_1), los parámetros de mayor peso resultaron ser sólidos suspendidos (0.708), demanda biológica de oxígeno (-0.679) y sólidos disueltos (0.460), mientras que las variables hidrológicas (V_1) fueron gobernadas por la variable tiempo (meses, 1.05), asociado fuertemente con el apareamiento de lluvias dentro de la cuenca (Figura 7), en los días anteriores a los muestreos del 24/25 de mayo y 21/22 de junio/2001.

El comportamiento general establece que el establecimiento de lluvias afectó de manera negativa el comportamiento del DBO (-0.679), se redujo el consumo de oxígeno al aumentar el caudal, pero favoreció de manera directa las concentraciones de sólidos suspendidos y sólidos disueltos, 0.708 y 0.46 respectivamente, aumentando la turbidez y cantidad de material disuelto en el agua, esto se explica por el impacto de la escorrentía en la cuenca, aunque en cada drenaje esta situación es diferente de acuerdo a las condiciones propias como pendiente, existencia de fuentes de contaminación puntuales,

intensidad de las lluvias, entre otras variables no contempladas directamente en este estudio. Con el resto de variables analizadas existió una relación bastante débil, con cloruros y alcalinidad, ambas variables, muy asociadas entre si, presentaron una relación negativa con la aparición de precipitación y un aumento de los caudales; con respecto a oxígeno disuelto la relación es negativa y poco significativa (-0.056).

3.4 DISCUSIÓN

3.4.1 Antecedentes sobre la calidad de las Cuenca del río Talnique

Antecedentes sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Talnique y algunas corrientes tributarias registradas en evaluaciones preliminares efectuadas por el Programa PAES en época lluviosa de 1998 determinaron buena calidad físico química en ciertas características importantes.

Mediciones puntuales en los tramos superiores de la corriente del Río Talnique, durante octubre de 1998, al final de la época lluviosa han señalado aspectos críticos que se refieren a la persistencia de coliformes en las aguas, la producción y transporte de sedimentos en las cuencas, la turbidez por sólidos en suspensión, materia orgánica y déficit en la oxigenación de las corrientes; para un sector del Río Talnique con un bajo impacto antropogénico se determinaron condiciones de baja turbidez (2 NTU), oxígeno disuelto cercano a saturación (6,4 mg/l), muy baja cantidad de sólidos suspendidos (22 mg/l) y carga orgánica biodegradables (2,44 mg/l, DBO₅), sin embargo, se reportaron las coliformes fecales y totales por arriba de la norma para actividades humanas y vida acuática, 4600 y 11000 NMP/100 ml de agua, es decir 4.6 y 240 veces el valor establecido para la condición ecológica del ambiente acuático, estos niveles determinaron la influencia de la contaminación derivada de los drenajes domésticos o de actividades ganaderas; por los niveles de caudal para ese período ($1.4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) se puede atribuir a los efectos de la escorrentía provocada por lluvias en la zona. La mayor implicación para la salud humana asociado a estas condiciones es la posibilidad de encontrar organismo patógenos en el agua y para la ecología acuática es mayor carga de materia orgánica que requiere del oxígeno para su degradación (Welcome 1992, Repetto y Moran 1991).

Sobre el Río Ateos, principal tributario de Río Talnique, los análisis previos reportaron buena calidad físico-química, y altos niveles de saturación, pero los sólidos suspendidos (150 mg/l) y coliformes totales y fecales (2.4×10^4 y 2.4×10^5 NMP/100ml respectivamente) estuvieron por arriba de la norma para vida acuática (PAES 1998).

Otra fuente analizada fue Quebrada Los Encuentros (Fig. 2), tributaria del Río Talnique, esta corriente presentó peores condiciones de calidad, con la turbidez de 53 NTU, sólidos suspendidos 234 mg/l, cloruros 87.4 mg/l, y concentraciones de coliformes fecales y totales por arriba de 2.4×10^5 NMP/100ml. Las causas de esta condición se encuentran en la mayor degradación de amplias áreas de la cuenca de drenaje de Los Encuentros y Ateos, sobre todo la presencia de suelos sin cobertura vegetal usado para cultivos limpios como los granos básicos, eso explica la alta producción de sedimentos en comparación con las cantidades transportadas por Río Talnique y Ateos.

Las condiciones sanitarias deficientes en la áreas rurales constituye una problema muy generalizado reportados por otras investigaciones lo cual a su vez repercute en baja calidad de las fuentes de abastecimiento potable (PRISMA 1998).

3.4.3 Impactos generales sobre la calidad del agua en la Cuenca del Río Talnique

Los resultados obtenidos en los muestreos ofrecen una condición de calidad de las aguas superficiales en un período muy corto, entre marzo y junio de 2001, marcado por cambios significativos con las precipitaciones iniciales en la zona, en este sentido los impactos analizados por las actividades en la cuenca se refieren a la caracterización de aspectos físicos y químicos tradicionalmente utilizados para la evaluación de calidad de agua para consumo humano, la comparación en diferentes sectores del cauce principal también contribuye a conocer el proceso de degradación de la calidad y la recuperación de algunas características en las corrientes; las condiciones desfavorables de saneamiento ambiental que puede llegar a limitar el aprovechamiento de las aguas superficiales son aspectos y finalmente la producción de sedimentos en las cuencas y su transporte es un aspecto crítico que reflejan las condiciones de protección o cambios sucedidos en las tierras.

Para la comparación de los valores encontrados con los estándares de calidad se utilizó la Norma Salvadoreña para Agua Potable (NSO 1996) y la propuesta de Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor (NSR 1996), además se auxilió de los criterios establecidos por EPA (1976) y la Norma Oficial Mexicana (1996), esta última contempla los valores criterios para usos en riego agrícola, uso público urbano (uso y consumo previa potabilización) y para protección de vida acuática.

Potencial de Hidrógeno: con respecto al pH en el aguas los valore óptimos sugeridos por (Figura 3a), Hem (1970) y EPA (1976) establecen un ámbito de valores entre 6.5 a 8.5 en aquellas aguas corrientes naturales, no influenciadas por contaminación; EPA (1976) sugiere un rango entre 5 y 9 para abastecimiento humano y entre 6.5 y 8.5 para mantenimiento de condiciones de vida acuática en ambientes de agua dulce, el rango de la Norma Salvadoreña recomienda valores entre 6.0 a 8.5 para consumo humano. En condiciones de riego, se establecen valores entre 6.5 y 8.4, fuera de este rango se considera una situación anormal que puede crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos (Ayer y Wescot 1987). En el caso de aguas para abastecimiento, puede causar problemas de corrosión y efectos adversos en los proceso de tratamiento (EPA 1976)

En general las condiciones para la cuenca se mantuvieron entre una condición neutra a levemente alcalina (Figura 3, Cuadro 11). Es notable un incremento hacia valores básicos, a medida que la corriente avanza hacia la zona baja de la cuenca, estaciones en Distrito Zapotitán, Canal Chuchucato y Desembocadura. La zona con una mayor alteración de los valores óptimos se refiere a Canal Chuchucato, ubicado en los tramos inferiores del Talnique (Figura 2), presentó valores muy cercanos a 8 unidades de pH, la causa de esta situación se encuentra, en parte, al aporte de los residuos líquidos y basura doméstica y agroindustrias, se incluyen drenajes de la fabricación de duralita, bloques de construcción y otros materiales que contienen materiales calcáreos, aunque se desconoce la condición química exacta de dichos vertidos. Las aguas de este canal son utilizadas para riego de hortalizas, maíz y caña de azúcar en sectores del Distrito Zapotitán, en este sentido la variable de pH tiene poca significancia directa en el agua de riego, a menos que sean niveles muy bajos, EPA (1976) señala que aguas con pH de 4.8 aplicadas por un cierto

tiempo al suelo puede suministrar hierro soluble, aluminio o magnesio en concentraciones que pueden ser tóxicas al crecimiento de las plantas; Salas (1987) indica que el pH normal para aguas de riego debe permanecer entre 6.8 y 8.4 unidades, en este sentido las aguas del Canal Chuchucato se encontraron cerca del límite superior sugerido.

Alcalinidad : esta característica presentó mayores niveles durante los meses más secos, y una reducción notable durante los eventos de lluvia (mayo y junio del 2001); en Canal Chuchucato y la Desembocadura, con influencia de aguas domésticas y vertidos industriales los valores llegaron hasta los 600 mg/l, según EPA (1976) para usos agrícolas, la alcalinidad favorece mayor concentración de sodio en el suelo y esto puede inducir a clorosis en las plantas, por la precipitación de compuestos de hierro, inhabilitando la disponibilidad para los cultivos, aunque se requieren de altos niveles de alcalinidad para verificar estos efectos. Como ya se mencionó, a partir de estas dos fuentes se abastece parte de las áreas de riego de Zapotitán, y aun se carece de estudios que determinen impactos sobre los cultivos, si se han reportado problemas de cristalización con el uso de estas las aguas en la aplicación de agroquímicos, lo cual incrementa las dosis de aplicación (PRISMA 1998).

Niveles naturales hasta de 400 mg/l no se consideran riesgoso para el consumo humano (National Academy of Science, 1974, citado por EPA, 1976); sin embargo, la Norma Salvadoreña para agua potable, establece un valor recomendado de 30,0 y un valor máximo de 250 mg/l. Para vida acuática es importante pues contribuye a estabilizar los valores de pH, ocurridos naturalmente por los procesos de fotosíntesis, por esta razón se establece un mínimo de 20 mg/l (EPA, 1976). Para usos industriales no es deseable altas

concentraciones en los procesos de preservación de sabor y estabilidad de alimentos o bebidas carbonatadas. Las aguas domésticas sin tratamiento puede contener hasta valores hasta de 200 mg/l, estas fuentes puntuales en la cuenca son importantes dado la baja cobertura de tratamiento de las aguas domésticas (Canter 1998, SRN 1995).

Dureza: las causas de la dureza del agua está relacionada con la presencia de iones metálicos disueltos, magnesio y calcio; en el caso de agua dulce, está vinculado con la capacidad de producir espuma del jabón e incrustaciones y costras en tuberías y depósitos; aunque las fuentes naturales proviene de composición del terreno, existen fuentes industriales como minerías, construcción, curtiembres y textilerías (OPS 1987).

El cuadro 17 muestra la clasificación de las aguas según el nivel de dureza que presenta y también la clasificación correspondiente para los secciones del Río Talnique y sus tributarios.

Cuadro 17 Clasificación para las aguas del Río Talnique según los valores de dureza (como mg/l de CaCO₃)

Nivel de Dureza (mg/l)	Clasificación ⁷	Concentraciones encontradas en la cuenca Río Talnique
0 - 30	Muy suave, blandas	-
30 - 60	Suave	-
60 - 120	Moderadas	-
121 - 180	Duras	-
> 180	Muy Duras	las estaciones se encontraron en el rango de 207 ± 10 a 1002 ± 1150

Las aguas de la cuenca se consideran muy duras, inclusive en áreas sin presencia de industrias u otras fuentes puntuales, por lo que su origen deberá buscarse en la naturaleza hidrogeológica de la zona, como rocas sedimentarias, percolaciones, escorrentía y las formaciones calcáreas (Hem 1985). En aguas naturales pueden variar entre 0 hasta cientos de mg/l, las aguas subterráneas provenientes de depósitos calizas, pueden exceder valores de 1000 mg/l (Maidment 1992).

⁷ Tomado de Water Quality Sourcebook: A guide to water quality parameter. Inland Water Directorate, Water Quality Branch, Ottawa Canada, 1979.

Las anomalías encontradas en Canal Chuchucato (E07) y Desembocadura de Talnique (E08) pueden relacionarse con los vertidos permanentes provenientes de agroindustrias y aguas de alcantarillas, principalmente del caserío Ateos, perteneciente al municipio de Sacacoyo, el cual posee la mayor densidad poblacional, entre los municipios de la Cuenca, cerca de 364 hab.km^{-2} (SRN 1995). En comparación con otras corrientes como Canal Belem y Canal Flor Amarilla sometidas a vertidos de agroindustrias presentaron valores puntuales mayores de 500 mg/l lo cual es un indicativo de las condiciones de alteración química producida en dichas aguas. Las primeras lluvias registradas en las fechas anteriores al muestreo de mayo del 2001(23/24) incrementaron este valor en varias estaciones sobre el canal principal, mientras que en junio del 2001 los valores se redujeron.

La normativa salvadoreña recomienda un valor de 100 mg/l y un máximo admisible de 500 mg/l para consumo humano. La OMS(1971) citado por Hem (1985) determina que las aguas muy blandas causan problemas de corrosión en los sistemas de distribución. No existen evidencias de efectos adversos a la salud, pero los iones en combinación con el sulfato produce propiedades laxativas (OPS 1987). Este parámetro de calidad no es de relevancia para las aguas usadas en riego (EPA 1976), sin embargo, los niveles altos encontrados en las aguas derivadas para el Distrito de riego en Zapotitán (Canal Chuchucato y Río Talnique), merece un mayor análisis para conocer posibles efectos sobre el suelo y cultivos, provocado por la toxicidad de los iones metálicos.

Cloruros: la Norma Salvadoreña establece un valor óptimo en aguas de consumo humano de 25,00 mg/l y un máximo de 250,00 mg/l, para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor se acepta un máximo de 500 mg/l (NSR 1996), las aguas de la cuenca durante los muestreos se mantuvieron dentro de este límite propuesto.

Aunque en general las condiciones de cloruros en el período de estudio estuvo dentro de las valores óptimos, algunas anomalías registradas se encontraron en las corrientes de Chuchucato, sus valores fueron más altos del resto de sitios, este parámetro se relacionó mucho con las condiciones de sólidos y dureza, además los cambios en sus valores guardan mucha relación con la conductividad, lo cual señala la riqueza de sales (Cuadro 15), esta situación se relaciona con la incorporación de vertidos de las industrias ubicadas

en la zona de influencia del canal, las repercusiones son más sensibles para usos agrícolas por los efectos de salinización de los suelos (Salas 1987).

3.4.3.1 Concentración de nutrientes

Fundamentalmente la presencia de estas sustancias se relacionan con el enriquecimiento de las aguas o eutrofización y el consiguiente crecimiento de malezas acuáticas y algas, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y riesgos para el consumo humano (Welcome 1992, Repetto Morán 1991, Campbell 1987). En el caso de consumo de agua potable la presencia de los nitratos representa riesgo para la salud humana y su valor esta restringido a 45,00 mg/l y sobre el nitrógeno amoniacal se establece un máximo de 0,50 mg/l (NSO 1996), ninguna medición dentro de la cuenca superó el valor máximo permisible para nitratos, pero el nitrógeno amoniacal superó en 4 veces el valor establecido en la zona de Distrito de Zapotitán y la Desembocadura.

La fuente de nitrógeno en las aguas proviene de la aplicación de fertilizantes ricos en nitrógeno inorgánico y la incorporación de desperdicios orgánicos como la gallinaza, lavado de instalaciones pecuarias y las alcantarillas comunitarias, ya que la escorrentía superficial es un medio de dispersión de contaminantes (Ongley 1993), las lecturas inusuales de contaminantes entre las diferentes cuencas se pudo apreciar en el muestreo de mayo y junio del 2001, durante la época seca los drenajes de Talnique, Quebrada Niágara y Río Ateos, presentaron valores arriba de 10 mg/l de nitrógeno total superando el valor máximo para aguas de vertido (NSR 1996), la influencia de la escorrentía provocó un incremento hasta del 200 % del valor sugerido por la Norma en los sectores inferiores del cauce, y las cuencas que mayor cantidad de nitratos produjeron fueron Ateos y los canales de Chuchucato. Según la Norma Mexicana las aguas podrían ser aptas para usos públicos y consumo previa potabilización, pues no superaron el valor de 40 mg/l, en el caso de las subcuencas las aguas superficiales no constituyen fuentes óptimas de abastecimiento, por lo contrario las fuentes subterráneas y manantiales son las principales fuentes locales para el consumo; para las condiciones de vida acuática los niveles de nitratos si son desfavorables pues en drenajes y sectores del canal principal se alcanzaron hasta 15 mg/l, valor máximo contemplado por esta norma de calidad.

Con respecto a la presencia de fosfatos y fósforo total, los valores máximos en las corrientes se acercaron a 2 mg/l sobre todo en Canal Chuchucato y la desembocadura al Río Sucio, las anomalías encontradas en Chuchucato deben buscarse en la naturaleza de los vertidos que recibe desde su inicio (Cuadro 7), pues el área de drenajes es pequeña en comparación con el resto de cuencas monitoreadas, no es posible determinar el impacto de los cultivos ya que no se cuenta con registros de las aplicaciones puntuales hechas en la caña de azúcar cultivada en dicha sub-cuenca, se considera de manera preliminar a las descargas industriales determinantes en la condición de la calidad de dichas corrientes. Un monitoreo en áreas más localizadas durante el período lluvioso arrojaría mejor información sobre el aporte de nutrientes al agua y las áreas más vulnerables a la contaminación por nitrato y fósforo.

Un criterio utilizado para comparar estos niveles es el máximo permitido para los vertidos industriales que contempla la Norma Salvadoreña, este es de 3 mg/l de fósforo total descargados a los cuerpos receptores (ríos o quebradas). Llama la atención las posibles concentraciones de los vertidos aportados pues los valores de este contaminante están cercanos a un 60% del valor máximo permitido en descargas sin diluir, esta situación señala la concentración y frecuencia de las descargas y el bajo nivel de dilución presentado por el Canal Chuchucato que se perfila como una zona crítica por los niveles de contaminación alcanzados, pero además por los usos intensivos en el riego del distrito Zapotitán para los cultivos de época seca.

Por su parte la Norma Mexicana (1996) establece hasta 20 mg/l para uso en riego y para uso público (consumo) y un máximo de 5 mg/l de fósforo total para protección de vida acuática, aunque no se supera este último estándar, los niveles de fósforo pueden determinar el crecimiento de malezas acuáticas en los tramos inferiores del río a las alturas del Distrito de Zapotitán y desembocadura (Fig 2), así como en las aguas del Canal Chuchucato, fenómeno más acentuado en dichos trayectos, favorecido por la formación de zonas de aguas lentas o semi-estancadas que permiten su acelerado crecimiento.

3.4.4 Niveles de contaminación orgánica y el impacto de actividades domésticas en la cuenca del Río Talnique

Los indicadores de contaminación orgánica como recuentos de coliformes fecales, demanda biológica, niveles de oxígeno disuelto, y nitrógeno amoniacal, principalmente, presentaron niveles más críticos en los sectores inferiores de la cuenca y en los drenajes del Río Niágara, Ateos y Chuchucato, que las zonas altas y drenajes superiores (Figura 2). Por una parte, la mayor cantidad de asentamientos urbanos y rurales (Cuadro 4), así como una fuerte actividad agroindustrial se verifica en las áreas del cauce medio del Río Talnique, en las cercanías de los cantones San José Los Sitios y Cantón Ateos principalmente (Cuadro 5, Figuras 3, 5), con el consiguiente aporte directo o indirecto de materiales orgánicos a las aguas superficiales originan las pobres condiciones de saneamiento ambiental como escasa o nula colección de la basura doméstica por parte de los municipios (Ver Anexo 1D) lo cual incide de alguna manera en la presencia de coliformes.

Una situación crítica en las zonas rurales constituye la deposición de excretas e insalubridad muy generalizada además de carecer de sistemas de abastecimientos seguros de agua potable lo que obliga a recurrir a fuentes superficiales, manantiales y pozos para suplir las necesidades de agua (SRN 1995), en este sentido los reportes de ANDA (1985) señalan que los manantiales de abastecimiento de las poblaciones de Talnique y Jayaque son de muy baja productividad (0.25 lt.s^{-1}) debido a las características litológicas de la zona por lo que existe una limitación del servicio de agua a dichas poblaciones, y además las fuentes presentan condiciones sanitarias deplorables por la presencia de letrinas y basureros en las cercanías, al respecto datos recientes del Ministerio de Salud¹ para los municipios de Sacacoyo, Jayaque y Talnique reportaron en total cerca de 3270 consultas externas por enfermedades gastrointestinales infecciosas, casos de amebiasis y parasitosis intestinal, para el año 2000, para ese mismo año las enfermedades gastrointestinales representaron el 66% de las consultas atendidas en los centros de salud del municipio de Jayaque.

¹ Estadísticas Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Primeras diez causas de morbilidad de consulta externa, en establecimientos del Ministerio de Salud Municipios de Jayaque, Sacacoyo y Talnique, Año 2000.

La figura 8 muestra un amplia presencia de coliformes fecales en la totalidad de las sectores de la corrientes analizadas y aunque las aguas superficiales no son fuentes para el consumo local, los niveles encontrados superan ampliamente los valores guías para aguas de vertidos la cual permite hasta 2000 NMP/100 ml en los cuerpos receptores (NSO 1996).

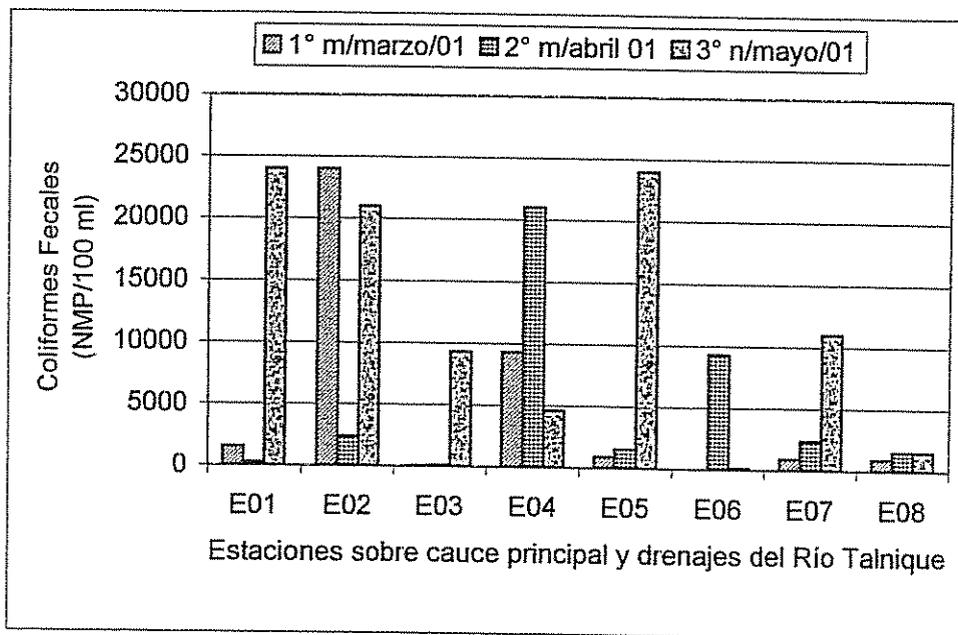
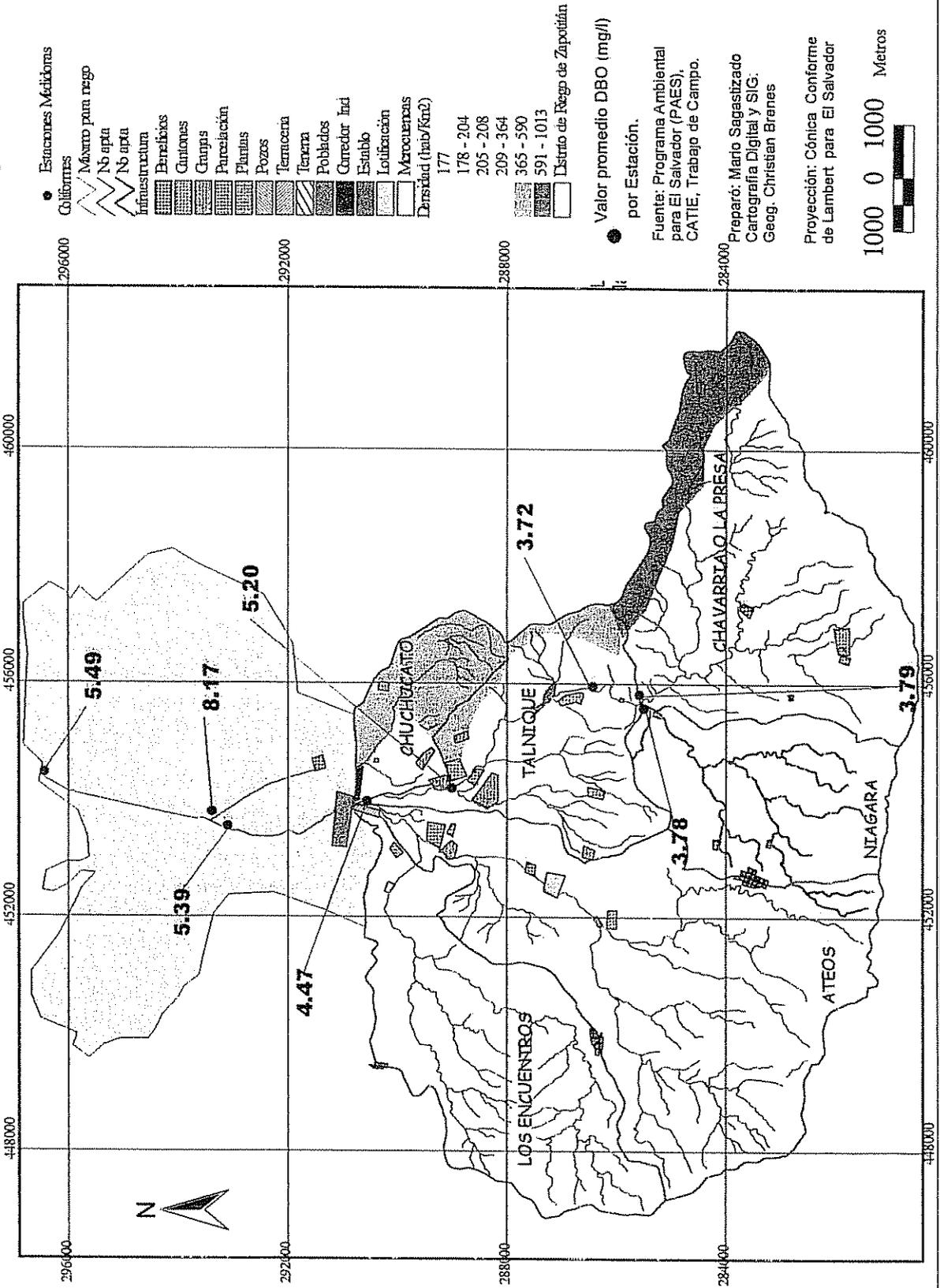


Figura 8. Coliformes fecales (NMP/100 ml) en cuenca del Río Talnique y Tributarios, marzo-junio.

Figura 9



Los reportes de PAES (1998), informan que en el caso de la cuenca del Río Sucio los niveles de contaminación por coliformes se consideran críticos por la falta de tratamiento de las aguas domésticas, algunos ríos cercanos a la cuenca de Talnique transportan las aguas negras de ciudades cercanas, Michaels *et al.* (1998) atribuye a las áreas pobladas urbanas como fuente de degradación de las aguas y establece las enfermedades de tipo fecal como las principales causas de morbilidad en el país.

El crecimiento poblacional que ha experimentado la zona del Valle de San Andrés en los últimos 10 años (Cuadro 3 y 8 figura 9) citado por INYPSA (2000) conlleva un aumento en la demanda de fuentes potables y la consiguiente producción de aguas negras, situación que requiere de la planificación y ejecución de los planes de ordenamiento por parte de los gobiernos locales y agencias gubernamentales. En cuanto a la carga orgánica (DBO_5), en general no constituye un riesgo alto para limitar actividades de riego para la Norma Oficial Mexicana la cual señala un máximo de 150 mg/l, para usos público urbano (uso potable previa potabilización) la guía es de 75 mg/l y 30 mg/l para la protección de vida acuática.

Para fines de comparación Esquivel (1998) propone la clasificación de las aguas superficiales según el nivel de DBO_5 que incluye desde aguas o ríos no contaminados y/o recuperados de contaminación los cuales presentan un DBO_5 menor de 3 mg/l de Clase I; mientras que aquellos que sobrepasen los 12 mg/l y que son incapaces de mantener la vida acuática, se ubican en clase VI o muy contaminados.

Por su parte la Norma Salvadoreña determina en el caso de los vertidos industriales un valor máximo de 30 mg/l para aguas domésticas y 200 mg/l para aguas industriales excepto las aguas mieles de beneficios de café y los vertidos de ingenios de caña de azúcar, las cuales poseen valores permisibles más altos.

Para los tramos del Río Talnique, la clasificación arroja las siguientes consideraciones generales sobre el estado de calidad del agua:

Cuadro 18. Clasificación de tramos del Río Talnique según valores de DBO₅, marzo – junio del 2001 (Sistema de Mersey River Board).

<i>Tramo del Río Talnique y Drenajes de Tributarios principales.</i>	<i>Promedio OD y DBO₅ marzo-junio/2001</i>		<i>Clasificación por Mersey River Board (Esquivel, 1998)</i>
<i>Inicio Río Talnique, Estación 01 Drenaje de cuenca de quebrada Chavarría o Talnique</i>	7,75	3,79	<i>Mas o menos limpia</i>
<i>Cauce principal, Estación 03</i>	8,7	3,72	<i>Más o menos limpia</i>
<i>Cauce principal, Estación 04</i>	9,1	5,2	<i>Dudosa calidad*</i>
<i>Cauce principal, Estación 06</i>	6,68	5,39	<i>Dudosa calidad*</i>
<i>Cauce principal, Estación 08 (desembocadura)</i>	6,98	5,49	<i>Dudosa calidad*</i>
<i>Drenaje Cuenca Niágara (Est. 02)</i>	7,8	3,78	<i>Más o menos limpia</i>
<i>Drenaje Cuenca Río Ateos (Est 05)</i>	7,18	4,47	<i>Más o menos limpia</i>
<i>Drenaje Canal Chuchucato (Est 07)</i>	6,42	8,16	<i>Pobre calidad*</i>

Los valores de DBO₅ encontrados se acercan a los reportados por las investigaciones efectuadas por PAES (1998) que determinó una baja carga orgánica en Río Talnique, sin embargo otras corrientes cercanas utilizadas como vertederos de granjas porcinas o que reciben las aguas de ciudades, como el caso de Canal Belem y Río Colón alcanzaron valores mayores a los 15 mg/l y 40 mg/l respectivamente, la concentración de DBO₅ en Canal Belem es bastante alta lo cual llega a reducir el oxígeno disuelto hasta niveles por debajo de 4 mg/l (PAES 1998). Mediciones puntuales en vertidos de la zona encontrando niveles muy altos que superan los valores guías de la Norma de Vertidos Industriales. En el caso en los vertidos de fábricas procesadora de alimentos se encontraron niveles altos de coliformes, sólidos suspendidos y grasas, mientras en tenerías la DBO₅ es superior en 8 veces las norma establecida (200 mg/l en industrias), sólidos en suspensión superan 2 veces el valor guía (150 mg/l), y las coliformes fecales alcanzan 240 veces el valor

sugerido (2000 NMP/100ml); otros análisis efectuado en industrias sobre el cauce del río Sucio determinaron aporte de materiales degradables provenientes de instalaciones pecuarias, granjas avícolas, textileras, procesadoras de alimentos, establos, entre otras, las cuales aportan grasas, nitrógeno, coliformes fecales y sólidos suspendidos, dentro de la zona de estudio la actividad avícolas es muy importantes, además de los beneficios y las curtiembres.

La presencia de materia orgánica transportada durante el período seco fue producto de los vertidos sólidos y líquidos arrojados a las corrientes en amplias zonas de a su paso por botaderos de gallinaza y desperdicios pecuarios no aprovechados por las agroindustrias locales como el caso de los sectores posteriores a la población de San José Los Sitios, en cuyas cercanías los desperdicios de granjas avícolas son depositadas en sus inmediaciones, lo cual facilita el arrastre inmediato durante el tiempo de las lluvias.

No se estableció una relación muy clara entre las variables DBO_5 , nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos (Figura 11), que permitiera determinar de manera general la descomposición de la materia orgánica y analizar el proceso de consumo de oxígeno, pero si existe evidencia de procesos que aceleran el consumo de oxígeno y problemas de descomposición orgánica en sectores de la corriente principal como lo muestra la Figura 10, lo relevante de este proceso es la determinación de condiciones de oxigenación poco favorables en el sector de Río Talnique (E04, zona de botaderos de desperdicios de las granjas avícolas), el drenaje de Canal Chuchucato y Río Talnique en el Distrito de Riego de Zapotitán, acá se han recogido las aguas domésticas de los caseríos de Ateos y comunidades aledañas, además de drenajes agrícolas y pecuarios (Figura 2 y 10).

La figura 10 señala un leve agotamiento del oxígeno disuelto en el tramos inferior de la corriente, a 9,5 km. de recorrido y al mismo tiempo un incremento de compuestos derivados de descomposición anaeróbica, como el nitrógeno amoniacal, además de incrementarse los nitratos y fosfatos de forma considerable lo que enriquece las aguas, se favorece la descomposición aeróbicas de la materia orgánica incorporada, en este trayecto las características físicas de corrientes y la abundante vegetación acuática y de ribera pueden favorecer mayor descomposición de materia orgánica.

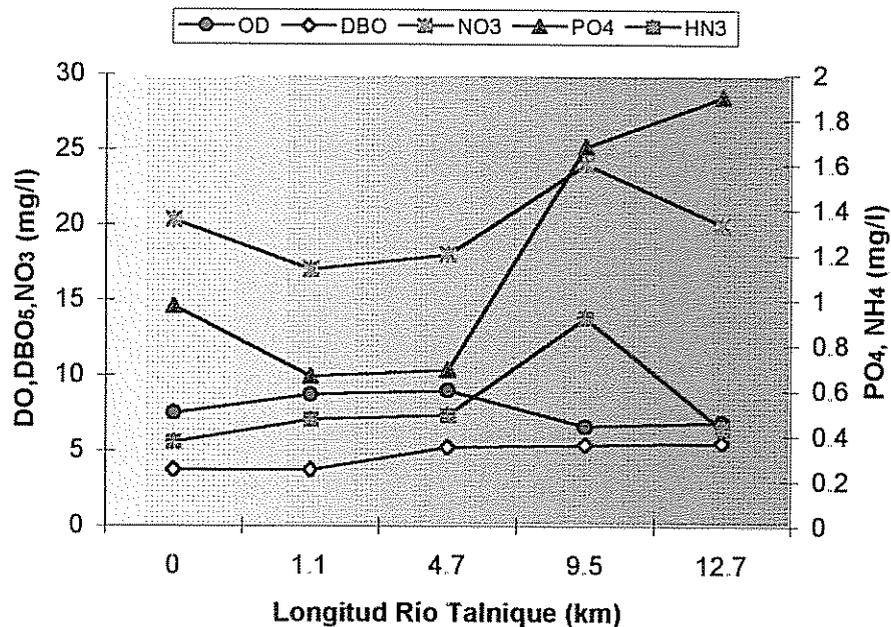


Figura 10. Comparación en el comportamiento de las medias de los parámetros Oxígeno Disuelto (DO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Nitrato (NO₃), Fosfato (PO₄) y Nitrógeno Amoniacal (NH₄) sobre el cauce principal del Río Talnique, marzo-junio del 2001.

Otra fuente puntual importante de materia orgánica constituye las aguas provenientes del beneficiado del café, actividad muy importante en la zona de la Cordillera El Bálsamo. En la quebrada Niágara se ubican lagunas de retención de aguas mieles del Beneficio instalado en las cercanías del drenaje. Larde (1998) señala que el beneficiado de café genera desechos sólidos (pulpa de café, cascarilla) y líquidos (aguas residuales del despulpado, lavado y escurrimiento de la pulpa), y que el mayor riesgo para el entorno está asociado a la pulpa y aguas residuales, otros inconvenientes son la proliferación de moscas y escurrimiento de contaminantes; sin embargo, la pulpa posee valor como materia prima orgánica para uso como abono orgánico alternativo; en los análisis de caracterización de las aguas mieles se comprobaron el aporte alto en sólidos en suspensión, turbidez, y Demanda Química de Oxígeno (DQO); los valores más altos corresponden a los residuos del mucílago del café y a las aguas residuales originadas como agua de despulpamiento, jugo de pulpa de café y agua de pulpa (Larde y Jacinto 2001).

La concentración de materia orgánica en la aguas residuales depende si los beneficios cuentan con agua disponible, ya que algunos que dependen de agua lluvia para su procesamiento y recirculan el agua utilizada en los procesos iniciales.

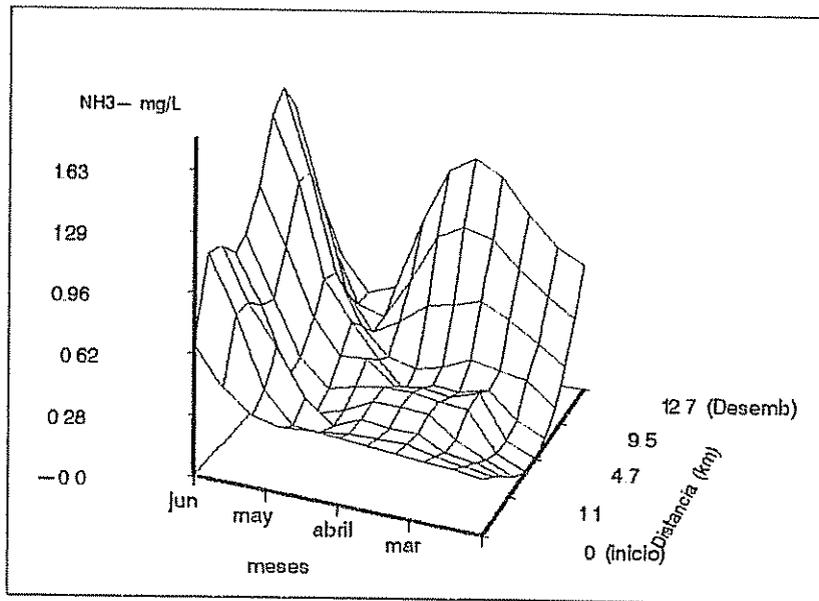


Figura 11. Variaciones del nitrógeno amoniacal en el cauce principal de Río Talnique (12.7 km), entre marzo y junio del 2001.

Larde (1998) estableció el nivel de riesgo ambiental para un grupo de beneficios según su ubicación geográfica en las planicies o en zonas montañosas, la cercanía con poblaciones, aplicación de medidas preventivas, entre otros criterios, se determinó que un 70% de los beneficios de alto riesgo se ubican en zonas de planicie, debido a una mayor disponibilidad de agua y mayor densidad poblacional, mientras que, un 16,7 % de los beneficios en zonas altas son de alto riesgo. Los registros sobre la cuenca establecen que los beneficios poseen lagunas de retención o fosas para la deposición de las aguas mieles y que en algunos casos se vierten a las corrientes aledañas (Cuadro 7). Ante esta situación la Fundación PROCAFE ha detallado diversas alternativas tecnológicas para el tratamiento y deposición final de los vertidos para lograr una reducción en el impacto ocasionado a la calidad de las corrientes, entre ellas las lagunas de oxidación constituyen un método temporal muy

extendido y económicamente factible, aunque se recomienda un manejo más tecnificado y evitar la contaminación de los mantos freáticos por las filtraciones (Lardé 1997), otros procesos ensayados y con potencial para implementar constituye la sedimentación química, lodos activados, percolación biológica, entre otros; además, se encuentran elaborados entre los gremios beneficiadores propuestas de procedimientos mínimos para lograr producciones más limpias en el proceso del beneficiado, y un programa de autorregulación propiciado por las autoridades ambientales del país para este mismo fin. Larde (1998) señala una serie de procedimientos tecnológicos y necesidades de investigación referente al proceso de uso óptimo del agua y manejo integrado de los residuos, como los efectos por el uso de aguas residuales en cultivos y propiedades del suelo, utilización de los abonos orgánicos derivados de la pulpa, evaluación agronómica de los lodos de las lagunas, entre otros.

El comportamiento de las aguas determinó que durante el período seco, los sectores con mayor nivel de descomposición orgánica se ubican en la sectores inferiores de la corriente, así lo muestra el comportamiento del nitrógeno amoniacal (Figura 11), los niveles son mayores en los sectores de la planicie de Zapotitán, el incremento también en los niveles de nutrientes en el agua puede estar asociado a drenajes de las áreas de intensa fertilización (EPA 1976); la incorporación, mayormente en época lluviosa, de sedimentos, restos vegetales y nutrientes al cauce, los fosfatos y nitratos, están asociado con la eutroficación de las aguas y el incremento de las malezas acuáticas (Branco 1984). El proceso de transporte de la carga global de compuestos o nutrientes como nitratos, fósforo total, y materia orgánica biodegradable, obtenido en kg.día^{-1} , (Figura 12) mostró en el caso del Río Talnique que el sistema acuático concentra los contaminantes en los sectores medios de la cuenca, y en los sectores inferiores (Zapotitán) se produce una reducción significativa previo a la desembocadura lo cual es una señal del proceso natural de autodepuración efectuado a lo largo de la corriente (Elosegui *et al*, 1995).

La figura 12 muestra que la carga de nitratos aumenta luego de la recibir el aporte de la subcuenca Niágara (E02), hasta el tramo de la Estación Talnique (E04, 4.7 km), se reduce en un 16%; en los tramos posteriores la concentración de nitratos alcanzó hasta $1\ 500\ \text{kgdía}^{-1}$ (9,5 km) y en el recorrido final se logra reducir cerca de un 27% el nitrógeno

transportado; con respecto al fósforo total (Cuadro 14), la media de la carga transportada inicialmente fue de 5.3 kg.día^{-1} en la estación Talnique (0 km), se duplicó posterior a la recepción de la quebrada Niágara, como sucede con las otras variables mostradas, los incrementos registrados en los sectores Talnique (E04) y Talnique Distrito Zapotitán E06 señalan aportes significativos de fósforo hacia el cauce; al final se logra reducir aproximadamente un 29% de la concentración acumulada.

El comportamiento de los tributarios Río Ateos y Canal Chuchucato (Cuadro 14, Figura 14), presentaron los mayores aportes de nutrientes al cauce principal, que las quebradas Talnique y Niágara, en materia biodegradable, nitratos y fósforo. Este comportamiento está fuertemente asociado a la intensidad del uso de la tierra y la intervención antrópica en cada una de sus cuencas, en los primeros dos drenajes se exhiben mayores área dedicada al cultivo de granos básicos, establecimientos de industrias y alta densidad poblacional (INYPESA 2000, SRN 1995), es determinante también el área de drenaje cubierta, que en el caso de la cuenca de Ateos – Shutía recoge mayor área de los tributarios analizados (Cuadros 1, 3 y 4, Figura 2), y puede ser considerado junto a canal Chuchucato como los drenajes de mayor impacto sobre las condiciones de calidad de la cuenca, aún cuando no son considerados como áreas críticas en los reporte preliminares de PAES (1998).

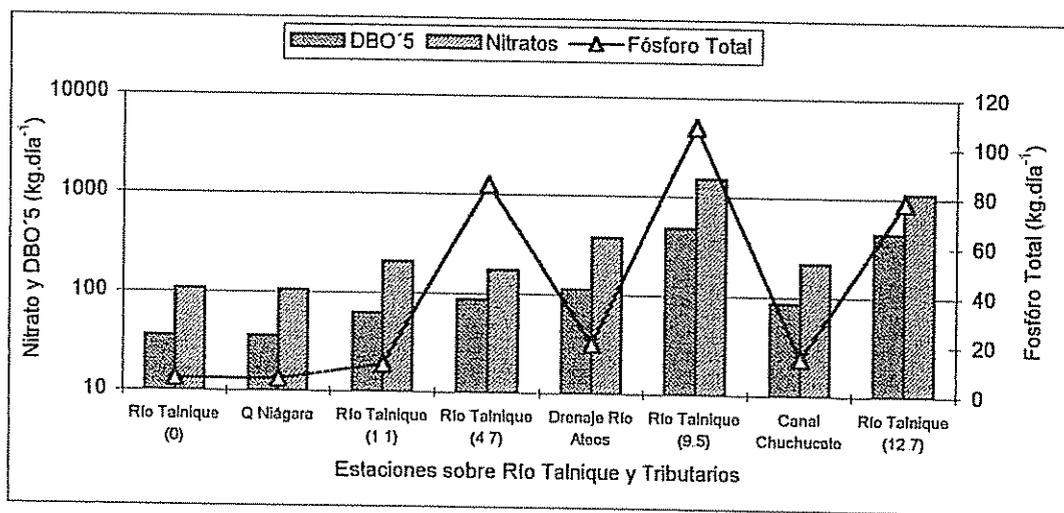


Figura 12. Carga promedio de Nitratos, Demanda Biológica de Oxígeno y Fósforo Total (kg.día^{-1}) en cauce principal del Río Talnique, marzo-junio del 2001.

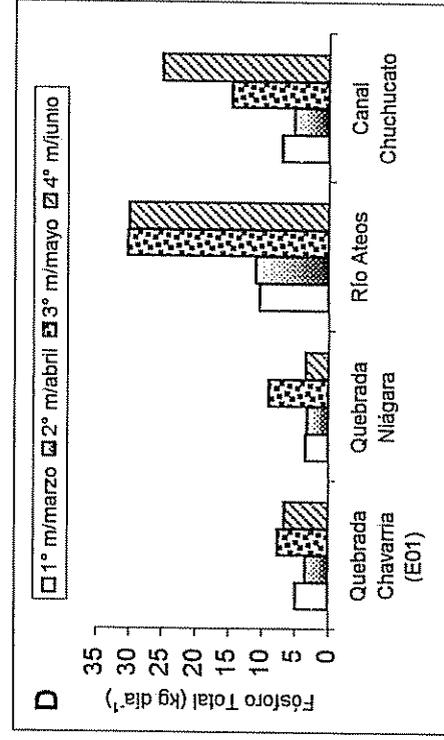
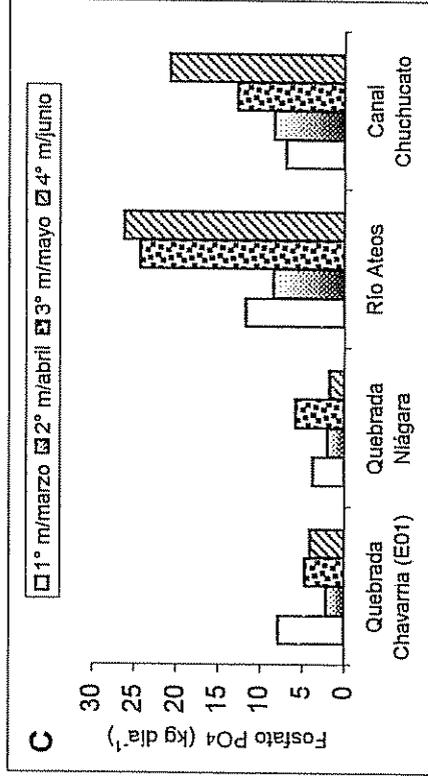
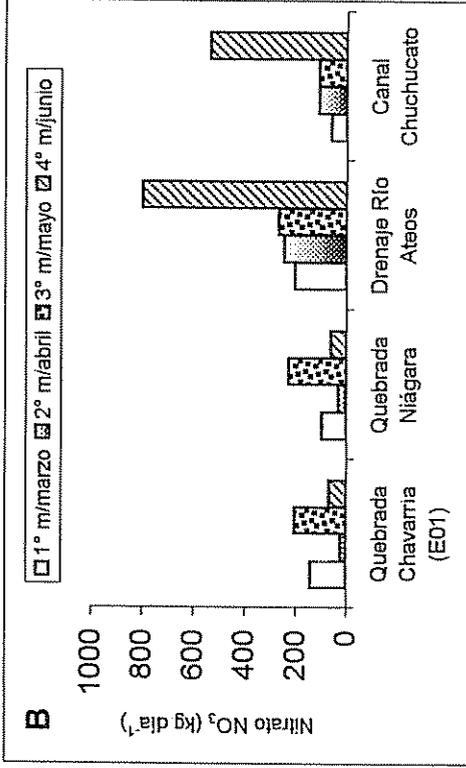
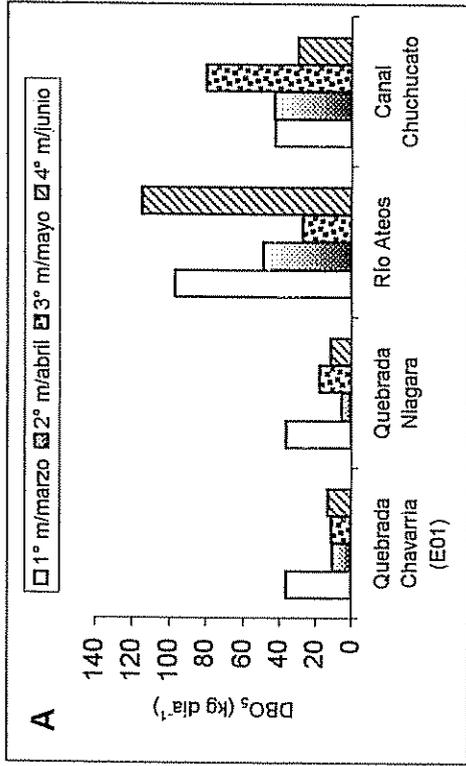


Figura 13. Aporte de contaminantes provenientes de las subcuencas de Chavarría, Niágara, Ateos y Chuchucato, marzo - junio del 2001.

3.4.5 Indicios de salinización de las aguas superficiales: Condición del Canal Chuchucato.

Otro de los impactos en la calidad, constituyó los niveles de partícula disueltas que asignan un carácter salino a las aguas, preliminarmente la mediciones de la conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos.cm}^{-1}$), determinaron variaciones a lo largo del cauce principal, pudiendo diferenciar dos sectores, aquellos ubicados antes de la desembocadura del Río Ateos y las descargas domésticas de los caseríos adyacentes (principalmente Ateos) y los trayectos posteriores (Figura 3d, 5 F,I,,K,L).

Los promedios de conductividad en los sectores superiores fueron cercanos a los 200 $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$, mientras el afluente de Chuchucato obtuvo valores promedio de 674 $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$, las condiciones detectadas por este estudio se asemejan a los reportes de PAES (1998) para esas corrientes, aunque son menores en comparación con valores que fueron detectados en aguas muy degradadas por el efecto de vertidos de agroindustrial y aguas de alcantarilla como Canal Belem, río Colón y Aguas Caliente entre otras con niveles por arriba de 1000 $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$. Este parámetro guarda una estrecha relación con la riqueza de las sales disueltas en el agua y su comportamiento ha sido usado para poder detectar cambios y tendencias en el uso de las tierras (Dow y Zampella 2000, Salas 1987).

Entre los factores que determinan las variaciones de conductividad se mencionan: el efecto de dilución por las lluvias o corrientes de crecida; el efecto de solución, por la cual las sales encerradas en tierras secas, derivadas de vegetación muerta, excremento de animales, cenizas de plantas, etc., entran en solución por efecto de la escorrentía y el desplazamiento de aguas freáticas ricas en nutrientes hacia el cauce, este efecto en conjunto incrementan la conductividad (Welcome 1992).

Los principales aniones disueltos en el agua incluyen los carbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos, y los cationes son sodio, potasio, calcio y magnesio. El exceso de sólidos disueltos es objetable para aguas de consumo, por los efectos fisiológicos provocados, sabor metálico y los altos niveles de corrosión en el sistema.

Para aguas de vertidos una clasificación general de las aguas establecida por Inland Water Directorate, Canadá (1979) basado en la concentración de sólidos disueltos determina las siguientes condiciones:

Cuadro 19. Clasificación de las aguas según los niveles de sólidos disueltos

<i>Sólidos Disueltos Totales mg/l</i>	<i>Nivel de Salinidad</i>
0-1000	Agua fresca, no salina
1001-3000	Ligeramente salinas
3001-10000	Moderadamente salinas
10001-100000	Aguas salina
>100001	Salmueras

Las restricciones básicas para aguas de consumo, determinan una concentración de 300 mg/l (NSO 1996), otras normativas como la Norma de Canadá y EPA (1972) establece 500 mg/l como Límite máximo aceptable y en tanto OMS establece 1000 mg/l (Cubillos 1990).

Los valores de sólidos en las zonas de derivación de Río Talnique y Canal Chuchucato, registraron niveles mayores de 5 000 mg/l respectivamente, según EPA(1976), con estas condiciones dichas agua solamente podrían aplicarse en riego de cultivos tolerantes, en suelos permeables y con adecuadas practicas de manejo de los suelos agrícolas. Estos valores son críticos por el uso que se hace para riego en el Distrito de Riego de Zapolitán a partir de Chuchucato se derivan dos bocatomas que alimentan campos de hortalizas, maíz y caña de azúcar, que cubren 156 hectáreas, mientras que del Cauce de Talnique se abastece el Canal principal del sistema de riego, el cual cubre 565 hectáreas, cultivadas mayormente de caña de azúcar (DGRNR 1998).

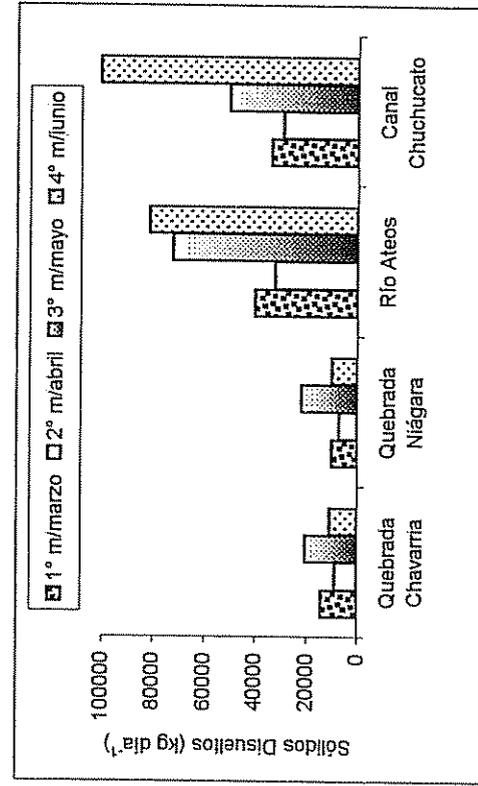
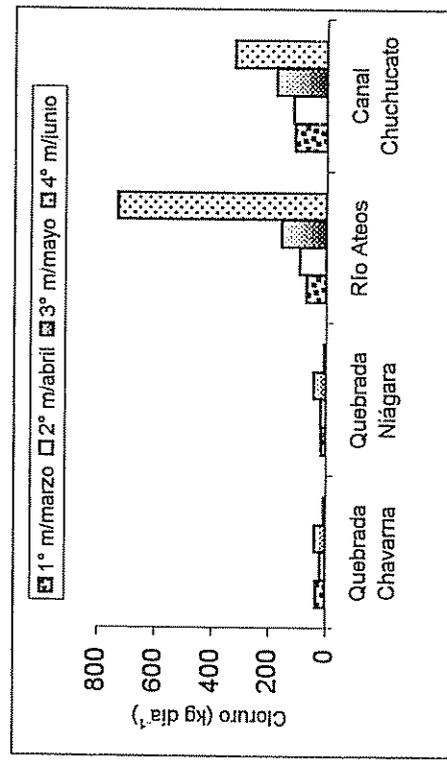
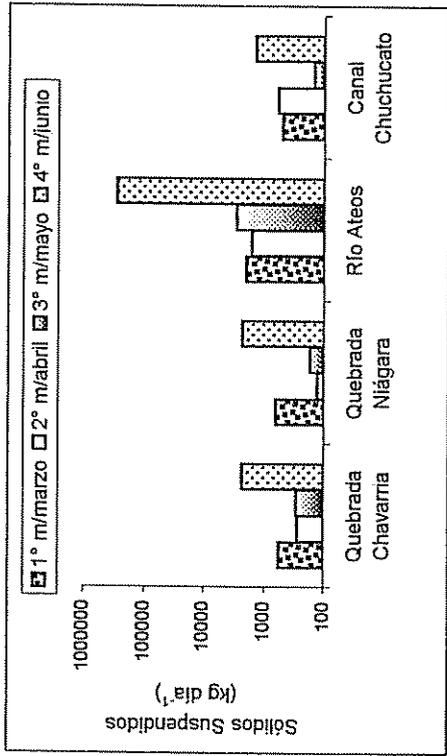


Figura 14. Aporte de Sólidos suspendidos, Cloruros y Sólidos Disueltos en $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$ proveniente de las subcuencas Chavarria(E01), Niágara, Ateos y Chuchucato, marzo - junio del 2001.

Sin embargo, estos niveles de salinidad son inconvenientes para el riego, por el efecto osmótico, sino también, por la composición de los cationes disueltos (EPA 1976), entre los efectos reportados se encuentran efectos en el crecimiento de las plantas y su calidad, dificultad en la emergencia de las plántulas por la formación de costras, disminución de la infiltración; con riego mediante aspersión, se forman películas en las hojas que reduce la actividad fotosintética (EPA, 1972, citado por Salas, 1987).

De acuerdo a la clasificación según los niveles de sólidos y la conductividad, propuesta en Seoanez (1992), las aguas de Río Talnique presentan una condición de media a alto riesgo de salinización, siendo recomendadas solamente para uso en cultivos tolerantes, aunque debe evaluarse dicha condición a más largo plazo e incorporar análisis sobre la presencia de elementos tóxicos y la respuesta del suelo agrícola.

Cuadro 20. Clasificación de riesgo de salinización por la presencia de sólidos disueltos en los sectores del río Talnique.

Restricción para uso en riego	Sólidos disueltos totales (mg/l)	Nivel de peligro de salinización y sectores de la cuenca Río Talnique ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	
Aguas sin efecto adverso	< 500	Bajo 100 - 250	Río Talnique Quebrada Niágara Río Ateos
Aguas que pueden tener efectos adversos en cultivos sensibles	500 - 1 000	Medio 250 - 750	Río Talnique (Distrito Zapotitán) ⁹ Canal Chuchucato
Aguas que pueden ejercer un efecto adverso en muchos cultivos y que requieren prácticas cuidadosas de manejo	1 000 - 2 000	Alto 750 - 2 250	Canal Chuchucato
Aguas que pueden ser utilizadas por plantas tolerantes sobre suelos permeables, y con adecuadas prácticas de manejo	2 000 - 5 000 <u>Niveles encontrado en todos las estaciones de monitoreo</u>	Muy alto > 2 250	Ningún Sector de la cuenca

⁹ Fuentes de abastecimiento para riego: Río Talnique (Distrito Zapotitán) y Canal Chuchucato

El Canal Chuchucato vuelve a aparecer como el sector con mayores niveles de sales transportadas (Cuadro 14) si se compara la contribución en sólidos disueltos y cloruros, aún durante la época seca, seguido del drenaje de Río Ateos, esta condición se atribuye a la mezcla de vertidos industriales a las canaletas de desagüe que desembocan finalmente al inicio de este canal principal (Cuadros 7 y 8), y en Río Ateos, que recibe los vertidos de tenerías y establecimientos agropecuarios que elimina sus desechos a la quebrada Los Encuentros.

3.4.5 Aporte de sedimentos en las subcuencas del Río Talnique.

El asunto de la producción de sedimentos está asociado con otros problemas de calidad del agua como la presencia de los agrotóxicos, insumos agrícolas, nitrógeno y fosfatos, dado que la erosión y el transporte de sedimentos en el paisaje y en los ríos son las principales formas de movilización de contaminantes en el medio ambiente (Andreoli 1993).

Lo relevante en este caso es el aporte mayor de los drenajes de Ateos y Canal Chuchucato, la figura 14 señala la alta contribución de ambas corrientes al cauce principal del Río Talnique, PAES (1998) señaló el problema de los sólidos suspendidos los cuales superan la norma establecida, para el primer drenaje las fuentes de sedimentos constituyen las áreas abiertas vulnerables a la erosión acelerado por la remoción de tierra durante la construcción de asentamientos rurales en suelos de vocación agrícola, proceso acelerado de urbanización que se verifica en otros sectores del Valle de San Andrés (INYPESA 2000), las áreas dedicadas a granos básicos contribuyen con suelo superficial, zonas de pedreras y desprendimiento de los cauces, entre otros, se desconoce las variaciones en la producción durante el resto de meses de lluvia, y el efecto de las labranzas, intensidad y duración de las precipitación, implementación de obras de conservación de los suelos y las características de los suelos que determinan también los efectos de la erosión (Seoanez 1992).

Un estimado de la producción de sedimentos por área en 4 subcuencas analizadas muestra los siguientes resultados preliminares:

Cuadro 21. Estimación de la contribución en sedimentos disueltos y suspendidos en las subcuencas del Río Talnique, marzo junio del 2001.

Subcuenca	Área (ha.)	Contribución en sedimentos disueltos y suspendidos (kg.día ⁻¹ .ha ⁻¹) ¹⁰			
		marzo	abril	mayo	Junio
Talnique ó Chavarria	2565	5,6 0,21	3,4 0,10	7,9 0,11	4,2 0,9
Niágara	1272	7,9 0,5	5,8 0,10	17,3 0,13	7,8 1,8
Ateos	5268	7,6 0,4	6,1 0,3	13,7 0,5	15,5 52,8
Chuchucato	571	59 0,87	51 1,0	88 0,25	176 2,4
Aporte global de Río Talnique	11 002	9,8 0,1	5,2 0,1	13,6 0,2	44,4 3,7

Los niveles de aporte de sedimentos parece ser mayor en el drenaje de Canal Chuchucato, por la alta concentración de sus aguas provocada por vertidos sólidos y líquidos, mientras la Cuenca de Ateos con amplia área de drenaje, constituye una fuente importante de sedimentos. La producción de sedimentos constituyen una de los principales problemas del impacto sobre la calidad del agua y uno de los factores que limitan su uso potencial, al respecto las determinaciones de sobre la sedimentación de los embalses del Cerrón Grande elaboradas por Harza (1999) señalan que la fracción de los

¹⁰ El sedimento transportado entre marzo y abril corresponde a las condiciones naturales y fuentes puntuales como vertidos industriales o domésticos, mientras que el incremento en mayo y junio, especialmente, muestra el aporte más integral de la cuenca por el efecto de la escorrentía.

sedimentos en suspensión transportada por el Río Lempa alcanza entre un 70 a 99%, siendo un factor determinante en la alta turbidez de dichas aguas, y en la sedimentación de los embalses, también datos sobre las estimaciones de erosión que ocurren en áreas críticas de la cuenca del Río Lempa determinaron que las zonas clasificadas como abiertas y agrícolas poseen tasas de erosión 20 veces más que las tierras con cubierta vegetal y 8 veces más que las áreas cubiertas por vegetación dispersa o cafetales; como áreas críticas se determinaron aquellas cercanas al cauce principal con un alto potencial de erosión y las subcuencas con altos contenidos de sedimentos suspendido.

La contribución de sedimentos y contaminantes al agua evidencia el problema de las fuentes puntuales en áreas importantes para su uso en riego o abastecimiento y en momentos de mayor escasez, esto conduce a delimitar las zonas de la cuenca en dónde las medidas de mitigación y prevención de la contaminación industrial y doméstica debieran enfocarse en las siguientes:

- Manantiales o drenajes superiores, impactados por el efecto de los vertidos de aguas mieles (quebrada Niágara), que constituyen fuentes de aprovisionamiento para las poblaciones de la parte alta de la cuenca, y los únicos acuíferos importantes de la Cordillera de El Bálsamo, en esta zona.
- Áreas cercanas a las urbanizaciones y centros agroindustriales, por la alta contaminación y necesidad de un adecuado saneamiento ambiental, con el objeto de prevenir enfermedades y epidemias relacionadas con la contaminación del agua.
- Fuentes subterráneas o superficiales abastecedoras de los canales de riego del distrito de Zapotitán (Canales de Chuchucato y Río Talnique).
- fuentes subterráneas y superficiales que suplen de agua de consumo a las poblaciones en los sectores de Ateos y comunidades aledañas (manantiales de San José Los sitios, El Balsamar, entre otras.)

3.5. CONCLUSIONES

- 3.5.1 Las aguas de la cuenca del Río Talnique en general presentaron una condición físico-química más favorable en comparación con análisis de otras fuentes cercanas como Río Colón, Belem y Sucio.
- 3.5.2 Durante el período de estudio no fue posible detectar el impacto de las descargas de aguas mieles en la zona del río Talnique. La presencia de lagunas de almacenamiento de desechos líquidos y la práctica de descarga a las quebradas aledañas presenta un riesgo de contaminación no evaluado en este trabajo.
- 3.5.3 La falta de información sobre las cantidades de aplicación de fertilizantes y agroquímicos en las plantaciones de café y cultivos de granos básicos dificulta la interpretación de los niveles de nutrientes detectados en el agua. Las mediciones efectuadas en periodo seco y parcialmente al inicio de las lluvias no reflejan el aporte de las áreas dedicadas a la agricultura.
- 3.5.4 Factores como mayor área de drenaje, tierras sin vegetación dedicadas a la agricultura en laderas, actividades de terracería en las inmediaciones de cauce, entre otras facilitaron el desprendimiento del suelo y alto contenido de sedimentos en el drenaje del Río Ateos.
- 3.5.5 Las anomalías en la condición química presentada en el tributario Canal Chuchucato son provocadas por las múltiples descargas de industrias y agroindustrias a su cauce. Esta situación limita el uso óptimo de ésta y otras fuentes pues pone en riesgo la salud de los usuarios, cultivos agrícolas y el sistema acuático.
- 3.5.6 La presencia de bacterias coliformes en algunas estaciones de control, aún en bajas concentraciones, representa un riesgo a la salud por la probabilidad de organismos patógenos. El escaso saneamiento ambiental, inadecuado manejo de los desechos sólidos y uso directo de las aguas superficiales por parte de las comunidades favorece la persistencia y el riesgo de contagio.
- 3.5.7 Los niveles de la contaminación orgánica encontrado en sectores del Río y tributarios están muy vinculados a las descargas de origen doméstico, siendo una de las fuentes de más impacto durante el período estudiado.

3.6 RECOMENDACIONES

- 3.6.1 Realizar estudios sobre la capacidad de asimilación de contaminantes y el poder de autodepuración de las corrientes de la cuenca del Río Talnique y otras fuentes importantes.
- 3.6.2 Evaluar la intensidad de aplicación de fertilizantes y agroquímicos en las áreas de plantaciones de café y granos básicos para vincular la condición química del agua con los patrones de las actividades agrícolas locales. Ensayar la escala de microcuenca o finca para lograr una mayor detección posible.
- 3.6.3 Realizar evaluaciones simultáneas de parámetros críticos como oxígeno disuelto y temperatura para conocer las variaciones en diferentes condiciones ambientales y grados de contaminación orgánica y química.
- 3.6.4 Los análisis de metales pesados y agroquímicos en las fuentes de interés local como manantiales y pozos de abastecimiento, canales de riego y otras aguas superficiales son necesarias dado el uso principalmente agrícola de la cuenca y los riesgos para la población a corto y largo plazo.
- 3.6.5 Establecer una red y mapeos básicos de áreas críticas o sensibles a la contaminación que incluyan las fuentes de abastecimiento, manantiales, áreas de captación para riego, áreas de pesca artesanal, contacto o recreación, entre otros, con la participación de los usuarios locales. Esta información debería contribuir a la discusión sobre el ordenamiento territorial y protección de los recursos hídricos de la zona.
- 3.6.6 Para realizar comparaciones oportunas de la información sobre la calidad del agua generados en diferentes proyectos de investigación debería considerarse los antecedentes generados en cuanto a zonas de monitoreo, época de estudio y metodologías utilizadas. Debe promoverse la divulgación de la información a los interesados y público.
- 3.6.7 Promover la participación de la comunidad en las tareas de saneamiento ambiental y manejo de los desechos domésticos. Es fundamental la concientización sobre el vínculo entre el estado de la calidad del medio y la salud comunitaria.
- 3.6.8 El tema de los recursos hídricos en las ordenanzas municipales y otras medidas de ordenamiento debería ser apoyado por las gestiones de agencias locales, grupos organizados, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud, entre otros. La

participación más activa de grupos de usuarios como comités de regantes, asociaciones comunales, comités o agencias de distribución de agua locales, etc. es importante en la planeación del manejo y conservación de los recursos hídricos.

- 3.6.9 Promover las tecnologías que contemplen el uso o reciclaje de materiales potencialmente contaminantes como pulpa de café, gallinaza, rastrojos y otras materias. El desarrollo de alternativas más eficaces para el manejo de aguas mieles, desperdicios domésticos y vertidos agroindustriales es crítico para las zonas de recarga de acuíferos y asentamientos importantes de la cuenca del Río Talnique y otras del Valle de San Andrés.
- 3.6.10 Promover las medidas de control de erosión y conservación de agua en las fincas de café y áreas de cultivos agrícolas, además de introducción de sistemas agroforestales en aquellas zonas importantes de acuíferos y cercanas a los cauces. La protección de las áreas ribereñas y el fomento del bosque de galería constituyen medidas importantes para la protección y el suministro del agua.

3.7 Literatura citada

- Administración Nacional de Acueducto y Alcantarillas (ANANDA, SV) 1985. Estudios sobre aguas subterráneas. Estudio hidrogeológico del área de Jayaque, Chiltiupán, Comasagua y Talnique. OPS-/OMS. 10 p.
- Andreoli, C. 1993. Influencia de la agricultura en la calidad del agua. *In* FAO (Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación, CL) Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines p.59-74 (Informe sobre Temas hídricos no.1)
- Ayers, RS; Wescot, DW. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO (Organización para la Agricultura Alimentación, IT) 1174 p. (Serie Riego y Drenaje no. 29 Rev 1).
- Barry, D. 1994. El Agua: limite ambiental para el desarrollo de El Salvador. PRISMA 5 (enero – marzo): 1-12
- Branco, SM. 1984. Limnología Sanitaria, estudio de la contaminación de aguas continentales. OEA (Organización de Estados Americanos, US) 120 p. (Serie de Biología No. 28)
- Campbell, R. 1987. Ecología microbiana. Editorial Limusa. México. 268 p.

- Canter, LW. 1998, Manual de Impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Trad. Echaniz *et al.* Madrid. 841 p.
- Cubillos, A. 1990. Calidad del agua y control de la contaminación. CIDIAT (Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial, VE). 121 p. (Serie Ambiente y Recursos Naturales Renovables).
- DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables, SV). 1998. Diagnóstico ambiental de la cuenca del Río Sucio. 147 p.
- Dow, C; Zampella, RA. 2000. Specific conductance and pH as indicators of watershed disturbance in streams of the New Jersey Pinelands, USA. *Environmental Management* 26(4):437-445.
- Elósegui A; Arana, X; Basaguren, A; Pozo, J. 1995. Self-purification processes along a medium-size stream. *Environmental management* 19(6): 931-939.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 1976. Quality criteria for water. Washington 256 p.
- Esquivel O, OA. 1998. Investigación aplicada sobre el impacto ambiental de la contaminación del agua en las cuencas de los ríos Sucio, Acelhuate y Cuaya. UCA (Universidad Centroamericana J.S. Cañas, SV) / FIAES (Fondo Iniciativa para las Américas, SV) 157 p.
- Guerra y Guerra, H. 2000. Investigación de la contaminación del Río Lempa y sus afluentes, Río Suquiapa, Acelhuate y Quezalapa. EcoConsult. 27 p.
- Harza (Harza Engineering Co). 1999. Estudio global de la sedimentación en la cuenca del Río Lempa. Resumen y presentación de resultados 11p.
- Hem, JD. 1985. Study and interpretation of chemical characteristics of natural water. USGS (United State Geological Survey). Third edition. 262 p. (Water-Supply paper 2254).
- INYPESA, 2000. Plan de desarrollo territorial para el Valle de San Andrés, Síntesis de Informe final. VMVDU (Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, SV); OPES (Oficina de Planificación Estratégica Sectorial, SV); FOSEP (Fondo Salvadoreño para Estudios de Pre-Inversión) 96 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, "Ing. Pablo Arnoldo Guzmán", SV) 1980, Hoja Cartográfica 2357 Zapotitán, Escala. 1:25,000.

- IHD-WHO (World Health Organization, IT) 1978. Working Group on the Quality of Water. Water quality surveys: A guide for the collection and interpretation of water quality data. 350 p. (Reports in Hydrology 23).
- IWD (Inland Water Directorate, CA). 1979. Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters. Water Quality Branch, Ottawa , Canada. 68 p.
- Lardé, G; Jacinto, S. 2001. Características de las aguas residuales *In*. Resultados de investigaciones realizadas durante el año 1999 (2001, San Salvador, SV). Avance Técnico. PROCAFE p. 93-100.
- Lardé, G. 1998. situación tecnológica y ambiental del beneficiado del café en El Salvador. *In* Seminario Regional de Consulta sobre la Situación Actual del Beneficiado de Café (1998, Heredia, CR). Memorias. S.I., CICAPE. s.p.
- Lardé, G. 1997. Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales del café. *In*. Seminario sobre Normas, Técnicas y financiamiento para el tratamiento de Aguas Residuales en la Agroindustria (1997, San Salvador, SV) 6p.
- Lobo, JE. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
- Maidment, DR. 1992. Handbook of hydrology. NY. McGraw-hill 1352 p.
- Michaels, G; Camacho, R; Platais, G. 1998. Aguas salvadoreñas capital de trabajo para la nación. PROMESA (Proyecto Protección del Medio Ambiente GOES/USAID 519-0385, SV) 55 p.
- Norma Salvadoreña (NSO) 1996. Normas de calidad para agua potable NSO 13.07.01 1996:10 CONACYT (Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV) 17 p.
- Norma Salvadoreña (NSR) 1996. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor NSR 13.07.03:00 1996. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV) 9 p.
- Norma Oficial Mexicana, 1998. Norma Oficial Mexicana NoM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 27 p.
- Ongley ED.1993. Programas de datos sobre la calidad del agua para el desarrollo de políticas para el uso de la tierra y de los recursos con referencia a América Latina. *In*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CL) prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. P.285-294 (Informe sobre Temas Hídricos no 1)

- OPS (Oficina Panamericana para la Salud, US) 1987. Guías para la calidad del agua potable. Vol.2 Criterios relativos a la salud y otra información de base. (Publicación científica 506)
- PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café) 2001. Registros de lluvia, enero - junio 2001. Estación Beneficio El Paraíso, Talnique La Libertad.
- PAES (Programa Ambiental de El Salvador). 1998. Análisis de resultados del monitoreo preliminar de contaminación de las subcuencas de los ríos sucio, Suquiapa y Acelhuate. Subcomponente de Monitoreo de Recursos hídricos. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV) ; DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables, SV). 64 p.
- PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente) 1998. Nuevas institucionalidades para el desarrollo sostenible en El Salvador: los casos de Nueva Concepción, Zacamil y Zapotitán. 74 p.
- Repetto, G; Moran, AC. 1991. Apuntes sobre la calidad de las aguas de uso potable. CI (Cooperación Italiana, SV) / MSPAS (Ministerio de Salud y Asistencia Social, SV). 66 pp.
- Saca L.,SA. 1986. Propuesta de un plan para el ordenamiento y protección ecológica de la cuenca del Río Sucio. Tesis. Ing.Qco. San Salvador, El Salvador. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). 112 p.
- Salas, W. 1987. respuesta experimental de las aguas contaminadas en la producción agrícola. Editorial UCR, San José CR. 112 p.
- Seoanez, CM. 1999. Aguas residuales urbanas, tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi-Prensa. 368 p. (Colección Ingeniería Medioambiental)
- SRN (Secretaría de Reconstrucción Nacional, SV) 1995. Prediagnósticos Municipales. Presidencia de la República, Gobierno de El Salvador. (49 p.)
- Welcome, RL 1992. Pesca fluvial. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 303 p. (Documento Técnico de Pesca 262).

Capítulo IV. Artículo 2: Aplicación de Índice de Calidad de Agua (ICA) y Diversidad de Macroinvertebrados acuáticos en estudio de contaminación de la Cuenca del Río Talnique, El Salvador.

Mario E. Sagastizado

Centro Agronómico Tropical de Investigación y
Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica.

RESUMEN:

Un muestreo de comunidades de insectos acuáticos fue realizado en ocho estaciones de la cuenca del Río Talnique, en el Valle de San Andrés, Libertad, entre marzo a junio del 2001. Se aplicó el Índice General de Calidad de Agua ICA (Lobo 2000, Canter 1998) y se comparó con los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de contaminación de Hellawell modificado, además se analizaron organismos del plancton para determinar especies indicadoras del estado del agua.

Los valores del índice ICA determinaron poca variación en la calidad del agua, en las estaciones de los tramos superiores del Río Talnique se encontraron valores hasta de 58 Unidades, y en los tramos intermedios e inferiores del cauce se redujo a 23 Unidades. El descenso en calidad fue debido a los bajos niveles de oxígeno disuelto, alta concentración de sedimentos y turbidez, coliformes fecales y DBO₅. En cuanto a la diversidad de macroinvertebrados, los valores más altos se encontraron en las estaciones caracterizadas por corrientes rápidas, aguas muy claras y baja intervención antrópica en general y se alcanzó un valor máximo del índice $H' = 3.82$. Los sitios con mayor número de grupos de insectos fueron los tramos Talnique (E01), Quebrada Niágara (E02) y San José Los Sitios (E03), mientras que las secciones inferiores en Talnique Zapotitán (E06), Canal Chuchucato (E07) y Talnique Desembocadura (E08) presentaron menos diversidad de formas acuáticas. Los Órdenes Plecóptera, Lepidóptera, Trichóptera, Ephemeroptera, Megalóptera y Coleóptera aparecieron frecuentemente en los tramos de la corriente con menos contaminación. Los órdenes Zigóptera, Anisóptera, Hemíptera y Díptera soportan condiciones de contaminación y se desarrollan en ambientes más alterados. El índice de contaminación Hellawell discriminó el estado de calidad a partir de la composición de la comunidad de macroinvertebrados.

Los drenajes de Canal Chuchucato y Río Ateos presentaron los menores valores de Índice de Shannon-Wiener y Hellawell, el primero impactado por descargas de industrias y alteraciones periódicas en el flujo y presencia de vertidos orgánicos y alta carga de sedimentos en Río Ateos.

Los análisis en el Plancton determinaron mayor abundancia de los grupos Diatomeas y Clorofitas, la presencia de algunas especies indicadoras de contaminación orgánica y quistes de helmintos constituye un riesgo sanitario por el consumo doméstico y usos agrícolas. Se requiere de un mayor análisis de las poblaciones planctónicas para interpretar los estados de calidad en las aguas superficiales.

4.1 INTRODUCCIÓN

El creciente interés por determinar el estado de conservación de los recursos hídricos y la medición de su calidad, ha favorecido el desarrollo de diversos criterios e índices de calidad físico-químicos (Lobo 2000, Canter 1998, Dinius 1978, EPA 1976), así como el uso de variables biológicas para determinar los impactos de la contaminación en el ámbito de la vida acuática y como método alternativo a las mediciones convencionales de calidad para monitorear y predecir los niveles de contaminación de las aguas superficiales (Whiles *et al.* 2000, Canter 1998, Siewert *et al.* 1990, Browder 1988).

La mayoría de los indicadores de tipo físico-químico combinan y simplifican los parámetros convencionales y los convierten en índices de la condición química, los cuales muestran de manera simplificada y en escala convencional los cambios o tendencias de la contaminación, de esta forma son herramientas útiles para los usuarios y manejadores del recurso hídrico (Guillot 1995, Canter 1998). Los índices de calidad química en general adoptan la siguiente representación: $ICA = g \{f_i [P_i], a_i\}$, bajo este enfoque, la calidad del agua se muestra en una escala ordinal o relativa, obtenida por la función g , a través de la selección de parámetros (P_i) con funciones individuales de sensibilidad (f_i), a los cuales se les asigna un peso o nivel de importancia (a_i), de esta manera la variación de cada parámetro se expresa mediante esta función de sensibilidad en una escala valorativa entre 0 (no aceptable) y 100 ó 1, que corresponde a una calidad óptima (Guillot 1995).

También el efecto de la contaminación orgánica en las corrientes puede ser abordado usando los indicadores biológicos de dos maneras: con el análisis de la presencia o ausencia de un grupo particular de especies, género o familias de invertebrados, u otro organismo acuático; y por medio de mediciones de la diversidad de una comunidad (Moss 1988, Branco 1984), este segundo enfoque es menos sensitivo que la determinación de especies pero exige menor detalle taxonómico (Moss 1988)

Actualmente el desarrollo de bioindicadores de la calidad del agua ha llevado a desarrollar varios niveles de aproximaciones, desde la escala genética, estudio de las patologías en organismos acuáticos, análisis bioquímicos, efectos fisiológicos, ecológicos y de comportamiento (Browder 1989). El desarrollo de programas de monitoreo y evaluaciones de la calidad ambiental incorporan algunos aspectos biológicos para una mejor interpretación y manejo de los problemas de contaminación (Browder 1989), aunque su enfoque pudiera ser más simplificado, deben contemplarse las interacciones subyacentes que generan las condiciones de disturbio de los ecosistemas (Guillot 1995).

Entre los factores que alteran las comunidades acuáticas y reducen la diversidad de especies están las actividades agrícolas que provocan alteraciones físicoquímicas y degradación de los hábitats en las áreas de drenajes (Whiles *et al.* 2000), también los cambios en la vegetación riparia (vegetación de las márgenes) y morfología de las corrientes, sedimentación, adición de nutrientes, enriquecimiento orgánico y contaminación por pesticidas (Branco 1984). Las medidas de diversidad acuática consideran dos factores: La riqueza de especies y la uniformidad o equitatividad (Magurran 1989), la riqueza de especies es la medida más simple de la diversidad de formas diferentes de organismos; y la uniformidad se refiere al nivel de representación de una especie con respecto al total de organismos, esta será mayor cuando las especies sean igualmente abundantes (Begon *et al.* 1996).

Por ejemplo, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') es sensible tanto a los cambios de número de especies como a la distribución de individuos de una especie presente o equidad, $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$

En dónde: P_i = es la proporción de individuos de la especie i -ésima estimado como n_i/N
 n_i = número de individuos de la especie i
 N = número total de especies.

La equitatividad se mide a través de la formula siguiente: $E = H/H_{\max}$ donde,
 $H_{\max} = \lg_2 S$, y S significa el número de especies en la muestra o población

El valor de E se sitúa entre 0 y 1.0, representa una situación en la que toda las especies son igualmente abundantes, al igual que el índice H' la uniformidad considera que todas las especies en la comunidad se han contabilizado en la muestra (Magurran 1989). En los cálculos del índice de Shannon se utiliza \log_2 , pero puede adoptarse cualquier otra base logarítmica, la elección debe ser consecuente cuando se comparan diversidades entre distintas muestras o se estima la uniformidad (Magurran 1989).

Durante esta investigación se procedió al monitoreo biológico preliminar de las aguas superficiales en las cuencas del Río Talnique, que incluyó a los grupos de macroinvertebrados y plancton, con el objeto de determinar posibles alteraciones de calidad y complementar con la información química de los parámetros convencionales. El plancton constituye una comunidad importante para conocer el estado de salud y los cambio que ocurren en las aguas como consecuencia de la calidad o alteraciones de factores críticos para el mantenimiento de condiciones de vida (Campbell 1987).

La cuenca del Río Talnique forma parte del sistema hídrico del Río Sucio, localizado en una zona impactada por los efectos de la contaminación puntual y difusa como drenajes agrícolas, industriales, vertidos municipales y bajos niveles de saneamiento ambiental (Esquivel 1998, PAES 1998, FUSADES 1998).

Con la información de las variables físico-químicas se aplicó un índice general de calidad, además se calcularon las medidas de diversidad de la comunidad de macro-invertebrados acuáticos presentes en los sitios, para conocer el comportamiento del índice químico en las condiciones de la cuenca. Se busca contribuir con el conocimiento del uso de las comunidades biológicas en las evaluaciones de impacto y monitoreo de la calidad de las

aguas, para esto se usó la escala de contaminación del Índice de Hellawell modificado con los organismos identificados, así se comparan los índices de naturaleza química con la información biológica para determinar cambios en el estado de calidad general de las corrientes y su utilidad para las evaluaciones del ambiente.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las condiciones climáticas del área de estudio incluyen las siguientes clasificaciones: la Sabana Tropical Caliente (Tierras Calientes), la Sabana Tropical Calurosa, y Tierras Templadas, según Koppen, Sapper y Lauer (MAG 2001).

Cuadro 1. Zonas climáticas presentes en la Cuenca del Río Talnique, La Libertad.

Zona Climática	Características	Área de la Cuenca de Río Talnique
Sabanas Tropicales Calientes 0 – 800 m de elevación	Estación seca noviembre a abril, temperaturas anuales entre 28 y 22°C en las planicies internas	Valle de San Andrés, Caserío Ateos, distrito de Riego de Zapotitán, desembocadura de Río Talnique.
Sabanas Tropicales Calurosas 800 – 1200 m de elevación	Estación seca: noviembre a abril, Temperaturas anuales entre 22 y 20 °C en planicies altas y valles; entre 21 y 19 °C en las faldas de las montañas.	Elevaciones de Cordillera El Bálsamo, sectores de municipios de Talnique, Jayaque, Tepecoyo y Sacacoyo (cabecera municipal). Quebradas El Niágara, Chavarría o Talnique, San José Los Sitios.
Tierras Templadas o Clima Tropical de las Alturas 1200 – 1800 m de elevación	Temperatura anual según región; en montañas entre 21 y 19 °C.	Elevaciones en Cordillera El Bálsamo, hasta de 1500 m.

El Río Talnique recorre desde las zonas altas de la cordillera del Bálsamo, entra en el distrito de Riego de Zapotitán y desemboca en el Río Sucio. En su trayecto alternan paisajes muy diversos de usos de la tierra, entre, sistemas de plantaciones de café bajo sombra, caña de azúcar (en la parte media y baja de la cuenca), áreas de cultivos bajo riego y zonas de urbanización. Los ríos Tributarios principales son Quebrada Niágara, Río Ateos y Canal Chuchucato que drenan parte de la cuenca en sus secciones altas y medias.

Las características de las ocho estaciones o micro-sitios fueron los siguientes:

Cuadro 2. Ubicación de zona de estudio y descripción de estaciones para medición de Calidad de agua.

Estación / Código	Ubicación	Observaciones
Talnique (E 01 Talnique) 13°41'31" L.N. 89° 24' 30" L.O.	Final del drenaje de Río Zanjón de Chavarría, La Presa, o también Talnique, Municipio de Talnique. A este punto el riachuelo ha recorrido cerca de 7 Km en medio de las fincas de café y alimentado por pequeñas quebradas.	Se ha tomado como punto de referencia para el inicio de la corriente Talnique
Quebrada Niágara (E 02 Niágara) 13° 41'28.1" L.N. 89 24'38.6" L.O.	Final del drenaje de Río Niágara, Municipio de Talnique. A este punto las aguas han recorrido cerca de 2 km desde la unión de los Ríos Chagúite y Paraíso.	Primer tributario del sistema Talnique, recolecta las aguas de la subcuenca de Niágara.
San José Los Sitios (E 03 SanJoSitios) 13° 41' 59.3" L.N 89° 24' 24.7" L.O	Estación ubicada a 1.1 Km posterior a la unión de las quebradas Talnique y Niágara, 300 m antes de recorrer el caserío San José Los Sitios	Estación sobre el canal principal, fondo rocoso, aguas turbulentas y frescas.
Río Talnique (E 04 Talnique) 13° 42' 25" L.N. 89° 24' 45" L.O.	Estación ubicada a 4.7 km del punto de unión de las quebradas Talnique y Niágara, a 200 m de Fábrica Avícola Salvadoreña	Estación sobre el Canal Principal, fondo arenoso y malezas acuáticas, sin vegetación riparia.
Río Ateos (E 05 Ateos) 13° 44'16.1" L.N. 89° 25'36.6" L.O.	Desembocadura de Río Ateos o Shutúa, sobre el Río Talnique. En las cercanías se encuentra el caserío Ateos Recoge drenajes de Quebrada Los Encuentros y Río Shutúa	Constituye el segundo tributario y el de mayor importancia en el sistema Talnique, por la mayor área drenada. Incluye los drenajes de Ateos-Shutúa y Los Encuentros.
Río Talnique Zapotitán (E 06 Talnique Represa) 13° 45'40.8" L.N. 89° 25'52.0" L.O.	Estación ubicada sobre el tramo del río Talnique que atraviesa parte del distrito de Riego de Zapotitán, aproximadamente a 200 m aguas arriba del sistema de derivación que abastece el Canal Principal de riego de Zapotitán.	Estación sobre el canal principal, comprende aguas cálidas y poco corrientes o estancadas.
Canal Chuchucato (E 07 Chuchucato) 13° 45'50.3" L.N. 89° 25' 43.4" L.O	Es la desembocadura del Río Chuchucato, el cual se forma de nacimientos en la parte media de la cuenca. Sus aguas son aprovechadas para riego de ciertas zonas del distrito de Zapotitán. El caudal no aprovechado es liberado de las represas y finalmente se incorpora al río Talnique, en las inmediaciones del sistema de derivación del Canal principal, a la altura de Puente Talnique en Zapotitán.	Estación al final del canal Chuchucato Recoge aguas de desechos de diversas industrias alimenticias, construcción y agroindustrias. pobres condiciones de saneamiento ambiental
Río Talnique (E08) Talnique, desembocadura 13° 47'32.7" L.N 89° 25'18.8" L.O.	Constituye la desembocadura del Río Talnique, luego de 12 km de recorrido desde la unión de las quebradas Talnique y Niágara	Estación sobre el canal principal, antes de la desembocadura con el río Sucio. Extracción de arena, fondo de tierra.

FIGURA 1

Estaciones de Medición en Río Talnique y Tributarios

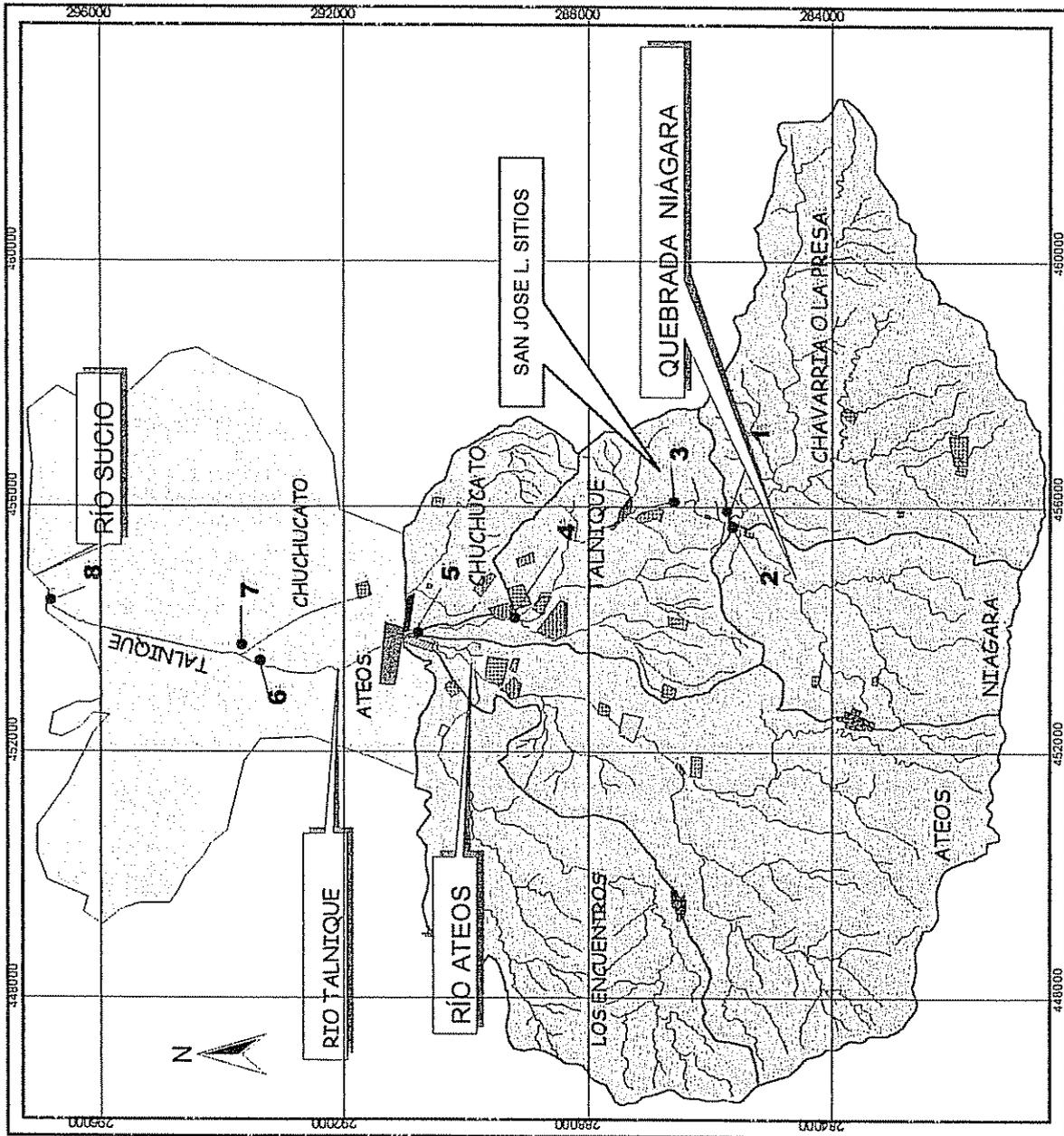
- Estaciones
- ▾ Red Hábita
- ▬ Infraestructura
- ▨ Pbnificios
- ▧ Cantones
- ▦ Granjes
- ▥ Parcelación
- ▤ Plantas
- ▣ Pozos
- ▢ Terraceria
- Tenerra
- Poblados
- ▧ Corredor Ind
- ▦ Estable
- ▥ Lotificación
- ▤ Mercuencas
- ▣ Distrito de Riego de Zipotitán
- ▢ Subcuenca Río Talnique

Fuente: Programa Ambiental para El Salvador (PAES), CATIE, Trabajo de Campo.

Preparó: Mario Sagastizado
Cartografía Digital y SIG:
Geog. Christian Brenas

Proyección: Cónica Conforme de Lambert para El Salvador

1000 0 1000 Metros



La información fisicoquímica utilizada para los cálculos del Índice ICA, corresponden a los citados por Sagastizado (2001), los cuales fueron colectados bajo los procedimientos de muestreo desarrollados por la unidad ejecutora de cuencas del Programa Ambiental (PAES). A partir de esta información se obtuvo el Índice de Calidad propuesto por Lobo, (2000) y Canter (1998), se efectuó la operación multiplicativa entre los subíndices obtenidos de acuerdo a las curvas de aptitud de cada parámetro, se utilizó este último procedimiento para mejorar el efecto de los parámetros sobre el valor final del índice, la importancia o peso relativo asignado a cada parámetro se tomó sobre la base de la propuesta de Lobo (2000).

El procedimiento aritmético efectuado es el siguiente:

$$ICA = (\text{Sub. i. Ox. Disuelto})^{0.17} \times (\text{Sub. i. Col. Fec.})^{0.15} \times (\text{Sub. i. pH})^{0.12} \times (\text{Sub. i. DBO}_5)^{0.10} \times (\text{Sub. i. Nitrato})^{0.10} \times (\text{Sub. i. Fósforo Total})^{0.10} \times (\text{Sub. i. Desviación Temperatura})^{0.10} \times (\text{Sub. i. Turbidez})^{0.08} \times (\text{Sub. i. Sólidos Totales})^{0.08}$$

El índice desarrollado es de tipo general y proporciona una caracterización del estado de calidad del agua basado en variables convencionales de evaluación, como el oxígeno disuelto, pH, temperatura, demanda de oxígeno, bacterias coliformes, nitratos, fosfatos, turbidez y residuos o sólidos totales, no se consideran aquellos compuestos tóxicos como metales pesados o pesticidas que pudieran estar presentes en el medio acuático, posee una orientación hacia la clasificación de las aguas con potencial para uso potable (Canter 1998), aunque la importancia asignada a variables como oxígeno disuelto, demanda biológica, pH, y temperatura lo vuelve una medida útil para evaluar condiciones generales para vida acuática (De Cardoso *et al.* 1993).

Para el cálculo del índice, se establecen valores máximos para cada parámetro, de acuerdo a los cuales se asigna valores de aptitud para las variables involucradas, de la siguientes manera:

Cuadro 3. Valores críticos y subíndice de aptitud según función del Índice General de Calidad.

Parámetro	Nivel máximo aceptado	Puntaje o Valor de Subíndice (0-100)
Oxígeno Disuelto (en % Saturación)	OD > 140 % Saturación	50
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	C.Fecales > 10 ⁵ NMP	3
Demanda Biológica de Oxígeno (mg/l)	DBO ₅ > 30 mg/l	2
Nitratos (mg/l)	Nitrato > 100mg/l	50
Fósforo Total (mg/l)	F.Total > 10 mg/l	2
Temperatura (°C)	Desv. > 15 °C	5
Turbidez (NTU)	Turbidez > 100 NTU	5
Sólidos Totales (mg/l)	ST > 500 mg/l	20

Tomado de Canter (1998).

La recolección de organismos acuáticos incluyó larvas, pupas y adultos de macroinvertebrados localizados en los ambientes de sustratos de piedra, hojarasca y vegetación acuática flotante o sumergida, procedimientos contemplados en Steffen (1999) y Roldán (1996). Se efectuó un rastreo constante durante una hora, aproximadamente, en cada uno de los sitios, haciendo enjuagues de las piedras para poder desprender y atrapar los insectos, separar los restos vegetales de los organismos vivos. En las estaciones en donde el sustrato constituyó vegetación acuática, se procedió igualmente a revisar y coleccionar los organismos viviendo adheridas a los tallos y hojas. Las muestras colectadas fueron colocadas en frascos plásticos y posteriormente separadas según los grupos taxonómicos presentes, colocando los organismos identificados dentro de viales en solución de alcohol al 70% para su posterior determinación taxonómica. Para la identificación preliminar se utilizaron las claves de Insectos acuáticos y documentos de Roldán (1996), Merrit y Cummis (1983) y Monterrosa (1996). Una posterior revisión taxonómica fue realizada por Mónica Springer del Laboratorio de Entomología Acuática de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica.

Se aplicó el Índice de Diversidad Biológica de Shannon-Wiener para determinar la riqueza de organismos en los sitios. Además, se colectaron grupos como Gasterópodos, Hirudinos, Ostrácodos, y Turbelarios, los cuales no pertenecen a la clase Insecta, pero si proporcionan información importante sobre la calidad de las aguas. En total se colectaron 8 muestras por cada campaña de monitoreo haciendo un total de 32 muestras analizadas.

Se aplicó el índice de Hellawel modificado a las Familias de organismos, este índice asigna valores entre 0 y 10 según su sensibilidad o tolerancia a la contaminación, el valor asignado a cada grupo se tomó de la propuesta de modificación del Índice de De Cardoso *et al.* (1993) y Metcalfe-Smith (1994), la sumatoria de los valores asignados proporciona el Índice el cual ubica el sitio analizado en rangos de contaminación entre 0 y 100 de acuerdo a la composición de organismos presentes, el mayor puntaje se asigna a los sitios con mayor presencia de organismos sensibles a la contaminación y los menores valores a aquellas zonas más degradadas en dónde se desarrollan organismos más tolerantes.

En cuanto al monitoreo del Plancton (Fito y Zooplancton) se utilizó una red planctónica (130 mm 26 μ m Hensen, estándar plancton net), posterior se recogieron alícuotas de 130 ml y preservadas con formalina al 10%, las muestras se analizaron en los laboratorios de Biología de la Universidad Centroamericana (UCA). Para el análisis del fitoplancton se utilizó la metodología recomendada por APHA (1989) y se obtuvo la frecuencia relativa porcentual. Para el zooplancton las muestras fueron cuali-cuantificadas utilizando equipo Swift (Mod. M3500D).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Parámetros Físico-Químicos

Los 9 parámetros físicos y químico utilizados para la elaboración del índice corresponden a los determinados por Sagastizado (2001), las variables convencionales requeridas incluyen los parámetros analizados en campo como oxígeno disuelto, temperatura, pH, y turbidez, así como determinaciones analíticas como DBO₅, nitratos y fosfatos, además de los análisis bacteriológicos.

Los valores de calidad fisico-química necesarios para el cálculo del Índice ICA, se presentan en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Parámetros de calidad de agua durante el período de marzo a junio de 2001, Río Talnique, La Libertad

Estaciones ¹								
Parámetro unidades	E 01	E 02 *	E 03	E 04	E 05 *	E 06	E 07 *	E.08
Físico-Químicos								
Oxígeno Disuelto (mg/l)	7,75 ± 0,3	7,8 ± 0,5	8,7 ± 0,7	9,1 ± 1,4	7,2 ± 1,8	6,68 ± 2,4	6,4 ± 0,8	6,98 ± 1,20
Coliformes Fecales) min-max (NMP/100ml)	240 - 2,4x10 ⁴	2400 - 24000	43 - 9300	4600 - 21000	900 - 24000	14,66 - 9300	933 - 11000	933 - 1500
pH (1-14)	7,4 ± 0,3	7,3 ± 0,1	7,4 ± 0,3	7,4 ± 0,3	7,5 ± 0,3	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,1	7,6 ± 0,20
Temperatura muestra agua (°C)	22,1 ± 1,2	21,9 ± 1,4	24,7 ± 0,7	29,5 ± 1,7	27,1 ± 0,5	27,6 ± 0,8	26,2 ± 0,9	23,9 ± 1,6
Temperatura ambiente (°C)	29,5 ± 1,7	29,5 ± 1,7	31,5 ± 1,2	32,8 ± 0,8	31,5 ± 1,2	31,6 ± 1,1	32,9 ± 0,8	28,3 ± 1,0
Turbidez (unidades NTU)	74 ± 136	22 ± 37	45,5 ± 60	79 ± 116	254 ± 496	130 ± 243	10 ± 2,6	29 ± 41,4
Químicos								
Fósforo Total (mg/l)	1,2 ± 0,5	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,6 ± 0,3	1,75 ± 0,1
DBO _{5,20} (mg/l)	3,8 ± 2,1	3,8 ± 3,1	3,7 ± 2,5	5,2 ± 4,3	4,5 ± 3,2	5,4 ± 3,0	8,2 ± 4,3	5,5 ± 2,8
NO ₃ (mg/l)	20,4 ± 9,7	19 ± 7,4	17,3 ± 7,5	18,2 ± 10,4	19,1 ± 6	24,9 ± 4,3	21,4 ± 7,9	20 ± 5,4
Sólidos Totales (mg/l)	3115 ± 511	2655 ± 139	2915 ± 259	3025 ± 717	5429 ± 3777	4881 ± 650	7147 ± 1085	5457 ± 1180

¹ Estaciones de Muestreo: E01. Drenaje Cuenca Río Talnique, E02*, Drenaje Quebrada Niágara, E03 estación sobre Río Talnique 200 m antes de caserío San José Los Sitios, E04 estación sobre Río Talnique posterior a Caserío San José Los Sitios, 100 m E. de Fábrica Avícola Salvadoreña, E05* desembocadura de Río Ateos al cauce del Río Talnique, 150 m antes de Puente hacia San Salvador, E06 estación sobre Río Talnique en Distrito Zapotitán, 200 m. antes de puente y represa Talnique, E07* drenaje de Canal Chuchucato, antes de unirse con Río Talnique y E08 Distrito Zapotitán desembocadura de Río Talnique en el Río Sucio.

4.3.2 Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

El cuadro 5 muestra los valores del índice general (ICA) para cada una de las estaciones en los meses de muestreo, el puntaje osciló entre 23 hasta 58 unidades, presentando una condición bastante homogénea en la mayor parte de las estaciones de estudio.

Cuadro 5. Valores del Índice general de Calidad del Agua (ICA)² para el Río Talnique, La Libertad.

Estación/Drenaje	marzo	abril	mayo	Junio
01 Talnique	40	53	39	32
02 Quebrada Niágara	35	39	40	38
03 Talnique (antes de caserío Sn. José Sitios).	47	58	41	34
04 Talnique (posterior de Sn. José Sitios)	36	46	43	39
05 Drenaje de Río Ateos	43	47	44	31
06 Talnique (distrito Zapotitán)	48	42	50	23
07 Canal Chuchucato (desembocadura en Río Talnique)	43	40	39	41
08 Talnique, (previo a la desembocadura con Río Sucio)	42	43	49	42

La situación de la calidad del agua mostrada por el índice es de una categoría media, aunque existieron condiciones de buena calidad hasta mala o inadecuada, dichas resultados coinciden con la variación de los parámetros más sensibles que determinaron condiciones adecuadas en los sitios o tramos superiores (oxígeno adecuado, baja carga de nutrientes), mientras en las zonas con mayor impacto como es la zona posterior a San José Los Sitios, caserío Ateos y Zapotitán, los problemas de calidad están vinculados con una mayor carga orgánica, alta concentración de partículas, y aguas más cálidas (Cuadro 4).

² Para la comparación de los valores del ICA se ha tomado la escala propuesta por Canter (1998) que comprende los siguientes rangos de variación: 0 – 19 muy mala, 20 – 36 mala, 37 – 51 calidad media o regular, 52 – 79 Buena y 80 – 100 Excelente calidad.

El índice final responde a los parámetros con mayor peso asignado, en este caso el oxígeno disuelto, presencia de coliformes fecales, y pH, esta priorización de los parámetros indica una orientación para el consumo potable (Canter 1998). Los valores promedios de los parámetros de calidad muestran a su vez pocas variaciones, por ejemplo el oxígeno, pH, fósforo total y nitrógeno (Cuadro 4); los límites o valores de aptitud asignados a cada parámetro, por la propuesta del índice, contribuye a que los valores sean muy cercanos entre sí. El índice mostró condiciones más favorables en los sectores superiores de la corriente, con niveles de buena calidad del agua, aspecto ya identificado por el comportamiento de los parámetros químicos y las características de las corrientes y bajo impacto antropogénico (Sagastizado 2001).

4.3.3 Índice de Diversidad de especies (Shannon -Wiener)

Los valores del índice de riqueza de especies de las comunidades de macroinvertebrados, mostrado en el cuadro 6, señalan una diferenciación bastante clara entre los sitios analizados, así como una variación dentro de cada sitio con respecto a los diferentes momentos de colecta; en promedio el tramo de San José Los Sitios (E03), sobre el canal principal posee el mayor nivel de diversidad de organismos acuáticos, $2,96 \pm 0,68$ y la menor diversidad corresponde al drenaje de Canal Chuchucato con un promedio de $1,46 \pm 0,69$. En general, se reportaron valores más altos en los tramos superiores de la corriente, y una disminución en las secciones inferiores. Entre los drenajes de las cuencas principales como Quebrada Niágara (E02) y Río Ateos (E05) se determinó promedios muy semejantes de $2,27 \pm 0,67$ y $2,3 \pm 0,25$ respectivamente.

Los cambios en los niveles de diversidad de las formas de insectos acuáticos son mucho más claros que las variaciones del índice de calidad química correspondiente, es posible observar una reducción del índice a medida que se acerca a la desembocadura pues la diversidad de organismos tiende a reducirse, el menor valor corresponde a las aguas del canal Chuchucato, el cual presentó condiciones entre media a mala calidad físico-química (37-51 puntos), afectado por los problemas de salinidad de sus aguas como consecuencia del enriquecimiento de sales por los vertidos descargados y también alteraciones periódicas en los volúmenes de agua derivados hacia los campos de cultivo (Sagastizado 2001).

Los valores de diversidad mostraron bastante variación en cada colecta, al inicio de la época lluviosa (mayo/2001) se notó una disminución de la diversidad de organismos ese mes.

Cuadro 6. Índice de diversidad de especies de macroinvertebrados acuáticos en Río Talnique y tributarios, marzo – junio del 2001.

Estación	Marzo	abril	mayo	junio	media±DE
Talnique (E01)	ND	2,4	3,0	2,6	2,7 ± 0,4
Quebrada Niágara (E02)	2,4	2,1	1,5	3,1	2,27 ± 0,67
Sn, José Sitios (E03)	3,0	2,86	2,1	3,8	2,96 ± 0,68
Talnique (E04)	1,6	3,26	1,9	2,9	2,4 ± 0,8
Drenaje Río Ateos (E05)	2,4	2,5	2,0	0,8	2,3 ± 0,25
Talnique Represa (E06)	ND	2,6	1,58	2,3	2,14 ± 0,5
Canal Chuchucato (E07)	2	1,97	0,7	1,75	1,46 ± 0,69
Talnique Desembocadura (E08)	ND	2,5	2,6	1,5	2,0 ± 0,49

Si se observa el número de familias identificadas (Figura 2), la zona con mayor número de grupos corresponde a San José Los sitios (E03), tanto el número de familias como de especies, el drenaje de Canal Chuchucato (E07) presentó una menor diversidad de organismo, así mismo en la desembocadura del Río Ateos, estos sitios están asociados con alteraciones frecuentes por causa de vertidos agroindustriales y domésticos (Sagastizado 2201, PAES 1998). Las secciones del Río Talnique en el distrito Zapotitán, previo a la boca toma para riego, es el segmento en promedio con menor diversidad de formas acuáticas, en número de familias y especies (Cuadro 6).

El cuadro 7 presenta la determinación taxonómica de los 9 órdenes, 33 familias de insectos acuáticos, 46 especies determinadas y los ambientes más frecuentes en dónde se han encontrado

Los grupos más abundantes constituyen los órdenes Hemíptera, Odonata, Trichóptera, Ephemeroptera y Coleóptero (Cuadro 7), otros grupos como Díptera, no fueron colectados apropiadamente, mientras que en el caso de grupos como moluscos gasterópodos, Ostracodos y Oligochaeta no fueron considerados para los cálculos de diversidad. Los ordenes Megalóptera, Plecóptera y Lepidóptera, presentaron pocas especies representativas, siendo de los grupos catalogados junto a Ephemeroptera y Trichóptera como sensibles a la contaminación y característicos de aguas limpias y de partes altas (Roldán 1996, De Cardos *et al.* 1993), aunque, ciertas familias de ephemerópteros y trichópteros también son tolerantes a la contaminación orgánica de las corrientes. Algunos grupos están mejor documentados que otros en cuanto a su sensibilidad a la contaminación (De Cardoso *et al.* 1993, Jones y Clark 1987),

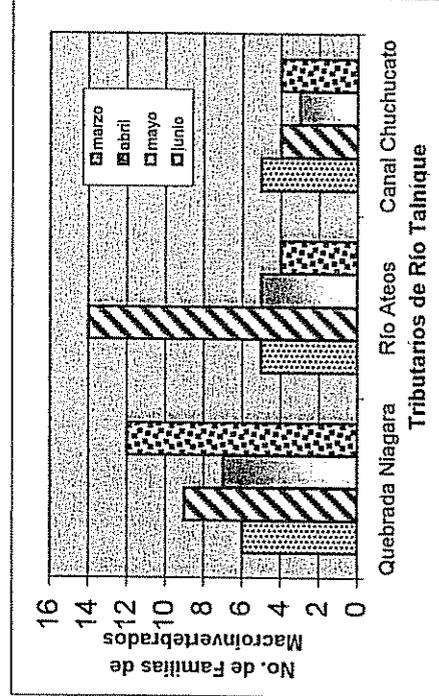
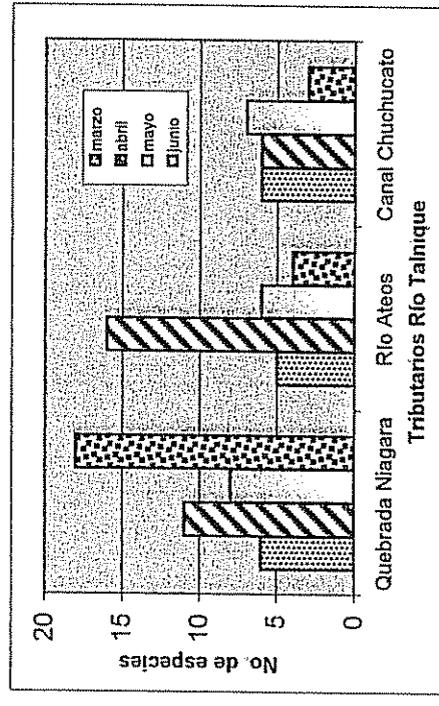
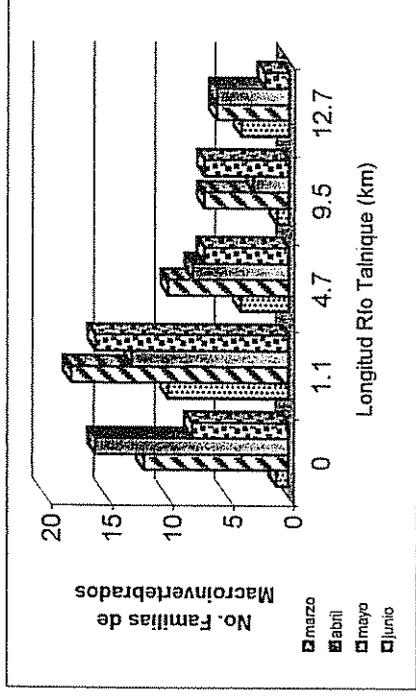
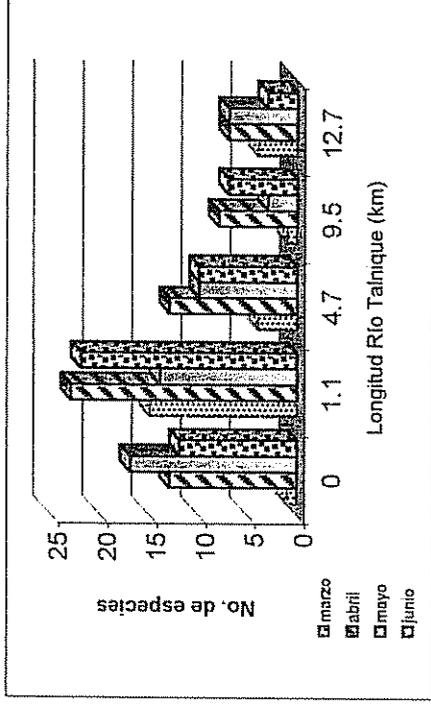


Figura 2. Número de familias y especies de macroinvertebrados en estaciones del canal principal del Río Tainique y en tributarios: Quebrada Niagara, Río Ateos y Canal Chuchucato, marzo - junio del 2001.

Cuadro 7. Caracterización de los grupos acuáticos más frecuentes encontrados en las aguas del Río Talnique

Orden y Familias	No. de especies	Especies predominantes y características del ambiente acuático	
Megalóptera Corydalidae	2	<i>Corydalus</i>	Muy frecuente en arroyos o corrientes rápidas poco profundas con abundante piedras. Son depredadores de otros organismos.
Plecóptera Perlidae	1	<i>Anacroneuria</i>	Encontrado solamente entre la hojarasca y restos vegetales en las corrientes. Depredadores.
Lepidóptera Pyralidae	1	<i>Pethrophila</i>	Larvas asociada a ambiente de corriente rápidas y fondos rocosos
Hemíptera Belostomatidae Hebridae Naucoridae Ochteridae Veliidae	7	<i>Belostoma</i> <i>Lethocerus</i> <i>Hebrus</i> <i>Naucoris</i> <i>Pelocoris</i> <i>Limnocoris</i> <i>SD</i> <i>Ragovelia</i> <i>Microvelia</i>	Organismo muy abundantes asociados con ambientes de aguas corrientes, pozas, aguas frescas. Depredadores
Odonata SO Zigóptera Calopterygidae Coenagrionidae Platysticidae Sub O. Anisoptera Aeshnidae Libellulidae Gomphidae	10	<i>Hetaerina</i> <i>Argia</i> <i>Acanthagrion</i> <i>Leptobasis</i> <i>Nehalania</i> <i>Palaemnema</i> <i>Remartinia</i> <i>Coryphaes</i> <i>Dythemis</i> <i>Bregchmorhoga</i> <i>Ephigomphus</i> <i>Phyllogomphoides</i> <i>Erpetogomphus</i>	Organismos muy abundantes, presentes en todas las estaciones, muy tolerantes a diferentes condiciones de calidad del agua. Es un grupo muy diverso se desarrollan aún en aguas con señales de degradación como en Canal Chuchucato, Zapotitán y Ateos.
Trichóptera Glossomatidae Helycopsychidae Hidroptilidae Hydropsychidae Philopotamidae Calamoceratidae	7	<i>SD</i> <i>Helycopsyche</i> <i>Hidroptila</i> <i>Ochritrichia</i> <i>Leptonema</i> <i>Smicridea</i> <i>Chimarra</i> <i>Phylloicus</i>	Este grupo posee organismos muy especializados, asociados con sustratos de piedras, hojarasca, aguas corrientes, muy escasos en las aguas estancadas o turbias.

... continuación Cuadro 7.

Ephemeroptera Baetidae Leptophebiidae Leptohyphidae	10	<i>Baetodes</i> <i>Calibaetidius</i> <i>Calibaetis</i> <i>Camelobaetidius</i> <i>Mayobaetis</i> <i>Thraulodes</i> <i>Farrodes</i> <i>Leptohyphes</i> <i>Tricorythodes</i> <i>Vacupernius</i>	Al igual que el orden Trichóptera, los Efemerópteros están asociados a aguas corrientes, fondos rocosos, o vegetación acuática. Su población disminuye gradualmente en sitios más profundos. Constituye uno de los grupos más diversos por su número de especies.
Coleoptera Dryopidae Elmidae Hydrophilidae Ptylodactylidae Scirtidae	9	<i>Dryops</i> <i>Helichus</i> <i>Macrelmis</i> <i>Heterelmis</i> <i>Neocyllopus</i> <i>Microcylloepus</i> <i>Hexacylloepus</i> <i>Anchytarsus</i> <i>Elodes</i>	Es un grupo de organismos acuáticos y semiacuáticos muy diverso, se ubican desde los ambientes de aguas muy limpias (baja turbidez) hasta aguas estancadas y con abundante materia orgánica.
Diptera Ceratopogonidae Culicidae Quironomidae Stratyomidae Tabanidae Tipulidae	7	<i>Culex</i> <i>Quironomidae</i> <i>Tabanus</i>	Es un grupo muy diverso, asociado tanto a aguas muy oxigenas como a pobres condiciones sanitarias y niveles altos de descomposición orgánica. Se identificaron muy pocas especies, aunque su número es muy alto en algunos sitios de la cuenca
Otros grupos de macroinvertebrados presentes en las corrientes de la cuenca del Río Talnique			
Clases Hirudinea	-	<i>Sin determinar</i>	Las sanguijuelas fueron abundantes en los sitios con mucha descomposición orgánica, aguas estancadas y turbias.
Ostracoda	-	<i>Sin determinar</i>	Organismos abundantes en aguas semiestancadas y con vegetación acuática flotante y sumergida
Gastrópoda Lymneidae Physidae Planorbidae	-	<i>Sin determinar</i>	Muy abundantes en los sitios con descomposición orgánica sujetos a vertidos de granjas avícolas o drenajes de alcantarillas, es estos sitios su población alcanza centenares de organismos adheridos a las superficies re rocas y vegetación.
Oligochaeta	-	<i>Sin determinar</i>	Las lombrices aparecen en ambientes diversos asociados a los fondos lodosos. No fueron muy abundantes en las colectas.

4.3.4 Análisis preliminar de Fitoplancton y Zooplancton de importancia para la calidad del agua.

Los conteos preliminares de fitoplancton y zooplancton realizados por la UCA (2001) determinaron la presencia de grupos de algas pertenecientes a 4 clases taxonómicas y 3 grupos de zooplancton, las especies catalogadas como indicadoras de contaminación orgánica y de mal olor del agua pertenecen a las divisiones Chrysophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Cyanophyta, lo mismo que especies de aguas limpias (Cuadro 8). En cuanto al zooplancton los grupos de protozoos, rotíferos y helmintos intestinales fueron más frecuentes en los muestreos (Cuadro 9).

Cuadro 8. Organismos del Fitoplancton³ determinados en las aguas del Río Talnique y Tributarios, marzo – junio del 2001.

Fitoplancton (algas)		División algal	Indicadores de la condición del agua		
			Contaminación orgánica	Sapidez y mal olor	Aguas limpias
1	<i>Amphipleura sp.</i>	Chrysophyta (Diatomea)			
2	<i>Ankistrodesmus sp.</i>	Chrysophyta			
3	<i>Cocconeis sp.</i>	Chrysophyta			
4	<i>Cymbella cistula</i>	Chrysophyta			
5	<i>Chroococcus turgidus</i>	Chrysophyta			
6	<i>Diatomella sp.</i>	Chrysophyta			
7	<i>Fragilaria capucina</i>	Chrysophyta			
8	<i>Gomphonema parvulum</i>	Chrysophyta			
9	<i>Hantzchia amphyoaxis</i>	Chrysophyta			
10	<i>Navicula gracilis</i>	Chrysophyta			
11	<i>Navicula graciloides</i>	Chrysophyta			
12	<i>Navicula radiosa</i>	Chrysophyta			
13	<i>Navicula sp.</i>	Chrysophyta			
14	<i>Nitzschia sigma</i>	Chrysophyta			
15	<i>Rhoicosphenia curvata</i>	Chrysophyta			
16	<i>Synedra ulna</i>	Chrysophyta			
17	<i>Tabellaria sp.</i>	Chrysophyta			
18	<i>Cladophora sp.</i>	Chlorophyta			
19	<i>Closterium sp.</i>	Chlorophyta (algas verdes)			
20	<i>Rhizoclonium sp.</i>	Chlorophyta			
21	<i>Spirogyra majuscula</i>	Chlorophyta			
22	<i>Euglena acus</i>	Euglenophyta			
23	<i>Lyngbya birgei</i>	Cyanophyta (algas Verde-azules)			
24	<i>Oscillatoria limosa</i>	Cyanophyta			

³ Tomado de UCA (2001)

En general, la ocurrencia de zooplancton fue muy escasa, resaltan las formas de parásitos de importancia sanitaria como los helmintos, aunque en cantidades bastante bajas (UCA 2001).

Cuadro 9. Ocurrencia de especímenes de zooplancton en las estaciones de colecta del Río Talnique y tributarios.

Estación	Phylum Protozoa			Phylum Rotífera		Phylum Nemátoda
	<i>Euglypha sp</i>	<i>Uroglena</i>	<i>Valkamphia sp</i> (<i>Amoeba</i>)	<i>Philodina sp</i>	<i>Trichocerca sp</i>	<i>Necator americanus</i>
E01				X		
E02	X	X	X	X		
E03				X		X
E04					X	
E05						X
E06				X		X
E07						X
E08						

4.4 DISCUSIÓN

4.4.1 Índice de calidad físico-químico

De la aplicación de los índices físico – químicos y los muestreos preliminares de organismos acuáticos se logra una visión de la calidad del agua un poco más amplia que incorpora condiciones no señaladas totalmente por la información química recolectada en las cuencas,. Por una parte el índice químico ha mostrado una condición bastante homogénea que responde a las pocas variaciones de los parámetros convencionales, el uso de estos instrumentos se ha enfocado más para caracterizar aquellas fuentes potenciales para consumo humano, pero con aplicaciones válidas para la evaluación de las condiciones para vida acuática (Canter 1998, De Cardoso *et al.*1993), porque incorpora condiciones de oxigenación de las corrientes, niveles de turbidez, presencia de coliformes y nutrientes entre otros.

Como resultado general de las condiciones de contaminación presentadas por Sagastizado (2001), el Índice físico químico expresó las categorías de aguas regulares o aceptables. El índice responde a la variación del conjunto de los parámetros, pero el peso o importancia asignada a los mismos es determinante para el resultado final; en el caso de la concentración de oxígeno, el número de coliformes fecales y el pH, constituyen parámetros de rigor en toda evaluación de calidad para consumo humano, con un peso del 17, 15 y 12% del valor total, sin embargo al DBO₅ solo se asigna un 10% de importancia, siendo este un parámetro crítico para la evaluación de tratamientos de las aguas crudas (Repetto y Moran 1991). El resto de parámetros como nitratos, fósforo total, diferencial de temperatura entre el agua y ambiente, la turbidez y sólidos totales, determinan en su conjunto un 56 % de todo el peso asignado. Así mismo, el puntaje establecido en las curvas de aptitud a valores máximos o extremos, constituye una medida de seguridad que restringe la sensibilidad a los cambios en la concentración de ciertas características del agua (Canter 1989); tampoco contempla la presencia de sustancias tóxicas como metales pesados o pesticidas.

Se necesita recalcar algunos elementos para su interpretación, por ejemplo aguas con valores mayores de 500 mg/l de sólidos totales corresponden a una categoría de aptitud de 20 puntos, para la cuenca la mayoría de aguas analizadas estuvo por arriba de los 2500 mg/l en las secciones superiores de la corriente, en un período sin escorrentía ni presencia fuerte de vertidos, y en otros sitios alcanzaron hasta más de 7000 mg/l, pero de igual manera recibe el mismo puntaje de aptitud, y estas diferencias no se reflejan totalmente en el valor asignado por el índice.

Otro aspecto importante en el cálculo del índice se refiere a la diferencia de temperatura del medio acuático con su entorno, la estructura del índice favorece aquellas aguas que presente cierta estabilidad en cuanto a esa, pero mientras mayor sea, lo que puede deberse a vertidos con altas temperaturas, el valor de aptitud se reduce. Esta situación no es aplicable en este caso específico, y aunque se reportan vertidos industriales para ciertas cuencas (PAES 1998), las diferencias de temperatura verificadas, se debieron principalmente a la influencia de la cobertura vegetal en los tramos del río ya que, en aquellos cubiertos por sombra natural del bosque ripario o de galería, como el caso de la quebrada Niágara (E02) hasta San José Los Sitios (E03) se reportaron aguas más

frescas, mientras que a partir de 04 hasta la desembocadura, la corriente se halla completamente expuesta a las variaciones de la intensidad solar diaria y esto las vuelve más cálidas (Cuadro 4). El calentamiento del agua superficial no es deseable si sobrepasa los límites naturales, ya que la temperatura es determinante para acelerar diversas reacciones físico-químicas (Campbell 1987).

El índice en promedio osciló cerca de los 40 puntos de calidad, los máximos valores se hallaron en los tramos superiores de la corriente y los menores valores hacia los sectores intermedios y finales de la corriente. Entre los tributarios, la quebrada Niágara (E02) y Río Ateos (E05) poseen valores que las caracterizan como de mala calidad durante marzo y junio/2001 respectivamente (Cuadro 5). Los cambios o condiciones extremas reportadas durante junio/2001 como los altos contenidos de sólidos totales, alta turbidez, coliformes fecales, nitratos y fosfatos, provocados por la escorrentía y la contaminación no puntual redujo el puntaje asignado a esas variables y del índice final.

Las condiciones sanitarias de las zonas urbanas y rurales son determinantes también para el estado de la contaminación de las aguas superficiales, dado que en la mayoría de los municipios de la cuenca no existe sistema de red de alcantarillas ni servicio de recolección de residuos sólidos, el efecto del drenaje de aguas servidas a las quebradas es determinante en la presencia de bacterias coliformes (Cuadro 4, Anexo 1D).

La condición de baja turbidez en canal Chuchucato podría estar relacionada con el represamiento temporal efectuado antes de su desembocadura al Río Tainique, dentro del Distrito de riego de Zapotitán; otras anomalías como baja cantidad de oxígeno, valores de pH levemente alcalinos y alto número de sólidos totales y consumo alto de oxígeno por la descomposición de materia orgánica en sus aguas, asociadas más directamente con la naturaleza química de los vertidos industriales y el uso de detergentes domésticos.

Para Río Ateos, las anomalías más frecuentes fueron lo altos niveles de turbidez y sólidos totales, esta cuenca recibe el drenaje de Quebrada Los Encuentros (Figura 1), la cual recoge una amplia extensión cubierta por granos básicos en laderas, acá se determinó mayor nivel de turbidez provocada por arrastre de partículas en suspensión; el drenaje de Canal Chuchucato superó la cantidad de sólidos totales en comparación al determinado

en Río Ateos, a pesar de presentar una menor turbidez. Las descargas de fábricas de elaboración de alimentos, materiales de construcción, entre otras, parece ser la causa de una alta concentración de sólidos.

Previo a la unión con Río Sucio (12,7 km) las aguas logran aumentar los niveles de oxígeno disuelto, reducir las bacterias coliformes, la demanda de oxígeno, y la turbidez (Sagastizado 2001), esta situación se debe en parte a la reducción de vertidos municipales o industriales, otro aspecto que contribuye a esa depuración podría estar asociada también a la presencia de macrófitas acuáticas (Ver Anexo 1C), que favorecen la sedimentación de partículas transportadas y la remoción del nitrógeno y fósforo (Welcome 1992, Branco 1984).

4.4.2 Mediciones Biológicas

Las comunidades de invertebrados acuáticos debido a que se encuentran en amplios tipos de ambientes y responden a una variedad de perturbaciones se utilizan en las evaluaciones ambientales (Whiles *et al.* 2000). En este sentido, el índice de diversidad Shannon–Wiener calculado con el número de especies de macroinvertebrados acuáticos constituye un procedimiento alternativo para evaluar el estado de conservación o degradación en los cuerpos hídricos (Cuadro 6).

Por ejemplo, la estación E03 sobre el cauce principal, sobresale con un total de 23 especies en abril/2001 y un índice promedio de 2.96 ± 0.68 , mientras el menor promedio se encontró en Canal Chuchucato, con un valor de 1.46 ± 0.69 . Branco (1984) establece que en aguas muy contaminadas el valor del índice de Shannon-Wiener se reduce por debajo de 1.0, en aguas medianamente contaminadas, oscila entre 1 y 3, y los valores superiores a 3 corresponde a aguas no contaminadas. De acuerdo a este planteamiento las condiciones encontradas en la cuenca corresponden a aguas medianamente alteradas, pues en la mayoría de los casos los valores del índice se hallan por arriba de 1.0.

El análisis de estos organismos al nivel taxonómico de Familia también es útil con la ventaja de requerir menor precisión taxonómica e igualmente logra evaluar los efectos globales de perturbaciones puntuales y no puntuales sobre la diversidad acuática (Whiles *et al.* 2000).

Se presentó una reducción de la diversidad de formas de macroinvertebrados a medida que el río descende; la mayor abundancia de especies se encontró desde el primer drenaje (E01) hasta San José Los Sitios (E03), estos son sectores del cauce con muy bajo nivel de degradación o alteración, a excepción del drenaje de quebrada El Niágara (E02) que recibe periódicamente las descargas de aguas mieles provenientes del beneficio aledaño, a escasos 200 m antes de su desembocadura con el río Talnique (Figura 4).

La reducción del índice de diversidad en el sitio Talnique (E04), coincide con el índice físico químico general (ICA) que también redujo su puntaje, ciertas condiciones como desprotección de los márgenes del cauce y ausencia de cobertura vegetal, aguas más cálidas, escasez de sustratos como hojarasca, introducción de materiales orgánicos provenientes de agroindustrias (avícolas), contribuyen en conjunto a crear condiciones más adversas para estos organismos. Jones y Clarck (1987) determinaron el impacto de las cuencas urbanizadas en la disminución de las formas de insectos acuáticos, principalmente por los vertidos de alcantarillas y cambios en los patrones de los caudales, Steffen (1999) también encontró cambios en la diversidad de macroinvertebrados en corrientes al sur de Costa Rica, mientras en aquellas con mejores condiciones de conservación de la vegetación y bajo influencia antropogénica la diversidad de organismos aumentó considerablemente, en comparación con las aguas sometidas frecuentemente a vertidos de tenerías, granjas porcinas, y mayor deforestación en las cuencas. El uso de indicadores biológicos para determinar el nivel de contaminación de las aguas, utiliza la respuesta o comportamiento de los organismos a las condiciones de calidad y estabilidad de las corrientes debido a que muchos grupos acuáticos prefieren altos niveles de oxígeno y baja turbidez, mientras que otros soportan diferentes grados de contaminación orgánica, en ambos casos su presencia se utiliza como indicador de las condiciones ambientales, y este comportamiento es aplicado en diferentes índices bióticos (De Cardoso *et al.* 1993, Metcalfe-Smith 1994, Branco 1984, Siewert *et al.* 1989).

Se han catalogado así grupos o taxones sensibles a la contaminación entre los que se encuentran organismos pertenecientes a los ordenes Ephemeroptera (Familias Leptophlebiidae, Leptohyphidae), Trichoptera (Fam. Hydropsychidae, Hydroptilidae, Helicopsychidae), Lepidoptera (Fam. Pyralidae), Plecoptera (Fam. Perlidae), Hemiptera (Fam. Belostomatidae, Naucoridae), Coleoptera (Fam. Ptilodactylidae, Dryopidae) y Megaloptera (Corydalidae) (Roldan 1996, Jones y Clark 1987). Entre los organismos más resistentes o con mayor capacidad de adaptación a cambios, algunos pertenecen a los ordenes Díptera y Trichoptera (Jones y Clark 1987).

En las secciones inferiores de la cuenca los grupos acuáticos más frecuentes asociados a la vegetación flotante fueron: Orden Odonata (Zigoptera, Fam. Coenagrionidae, Calopterygidae; Anisoptera, Gomphidae), Trichoptera (Fam. Philopotamidae), Ephemeroptera (Fam. Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Baetidae), Coleoptera (Scirtidae), además de grupos muy tolerantes como Díptera (Culicidae, Quironomidae, Stratyomidae), Gastrópoda, Hirudinea, y Ostracoda (Cruz *et al.* 1999, Metcalfe-Smith 1994). Los Moluscos Gastrópodos (Familias Planorbidae, Lymnaeidae, Hydrobiidae y Physidae) e Hirudineos infestan los sustratos y la vegetación del cauce, estos han sido reportados por De Cardoso *et al.* (1993) como indicadores de altas cargas de materia orgánica en descomposición.

La figura 3 (a), muestra una reducción en el número de organismo de los ordenes Megaloptera, Plecoptera, Trichoptera y Ephemeroptera a la altura del sitio Talnique (E04), y posteriormente, en Río Talnique (D. Zapotitán, E06) sucede otra reducción notable. Las condiciones acuáticas en dichos sectores, como el cambio en los sustratos de las corrientes, como fondos predominantemente arenosos, reducción de la hojarasca, cauce más profundos y estancamiento de las aguas, pueden contribuir a este fenómeno, sin embargo, algunas especies de Trichoptera y Ephemeroptera más tolerantes a la contaminación persisten en menores cantidades (Ver Anexo).

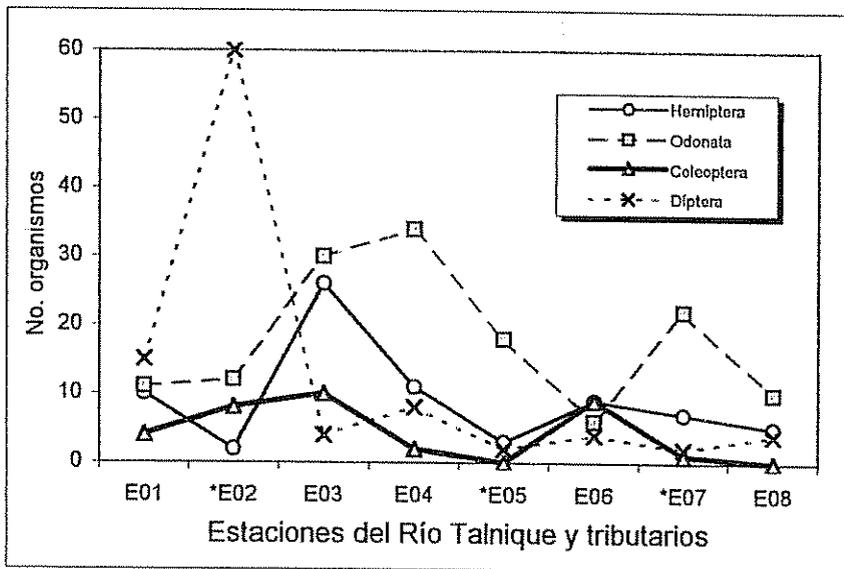
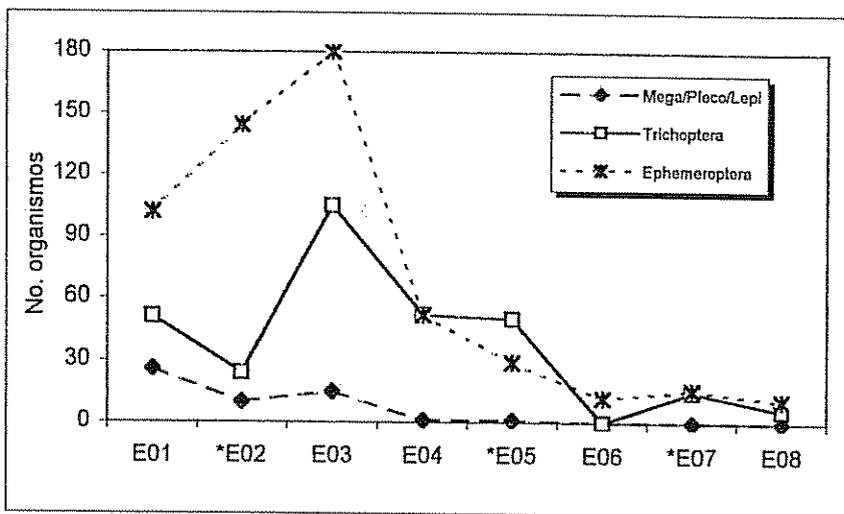


Figura 3. Número de organismo de comunidades de invertebrados en estaciones del Río Talnique y tributarios*, marzo - junio del 2001.

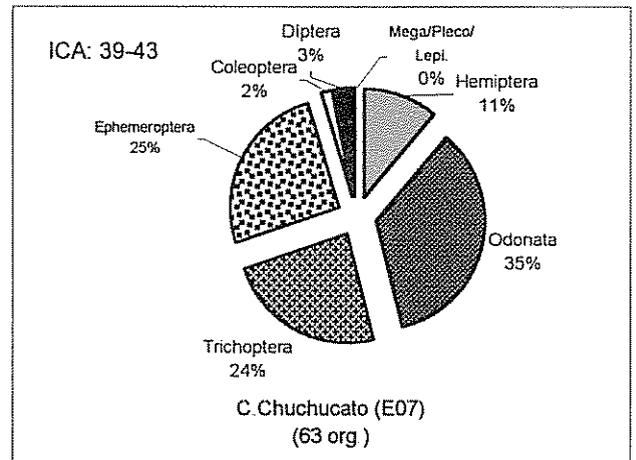
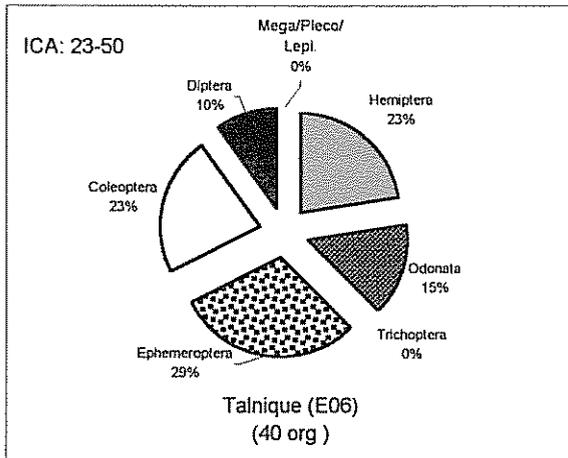
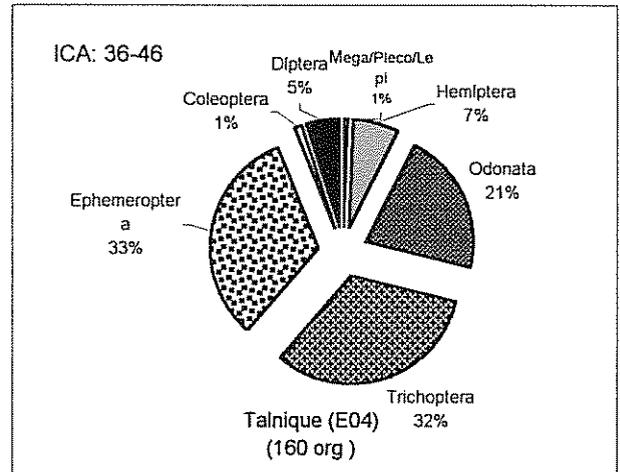
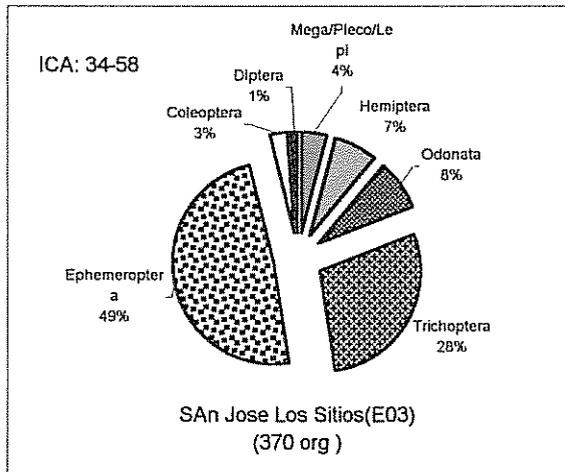


Figura 4. Composición de las comunidad de macroinvertebrados en 4 sectores de la cuenca del Río Talnique, marzo - junio del 2001.

Las condiciones de la quebrada Niágara favorecieron la abundancia de dípteros, acá las descargas de aguas mieles producen ambientes propicios para su desarrollo, lo que puede acarrear la proliferación de vectores en los alrededores. Cambios importantes en la población de macroinvertebrados y calidad del agua ocurrieron entre los sectores previos y posteriores a la población de San José Los Sitios, alteraciones como mayor temperatura del agua, alteraciones en los sustratos, de piedras a arena y limo, un mayor crecimiento de malezas acuáticas, produjo un cambio en la composición de organismos, mientras Díptera y Odonata persisten, el grupo de Hemíptera y Coleóptera de redujo cuantitativamente (Figura 3 b). El tramo de San José Los Sitios (E03, Fig. 4) aparece una alta abundancia de especies del Orden Ephemeroptera, la cual alcanza cerca del 50% de los organismos determinados, con 3 familias y 10 especies, constituyen uno de los grupo más diversos y abundantes, incluye especies "tolerantes" y "sensibles" a la contaminación. Por ejemplo La familia Baetidae está catalogada como muy tolerante a la contaminación (De Cardoso *et al* 1993, Steffen 1999, Metcalfe- Smith 1984), y la especie *Baetodes* (Ver cuadro 7) es una especie encontrada en ambientes desfavorables en oxígeno y aguas cálidas (Cuadro 4), mientras que la familia Leptophlebiidae señala condiciones de aguas más limpias (Metcalfe-Smith 1996)

El grupo Plecóptera apareció únicamente en las 3 estaciones superiores de la cuenca, son organismos muy sensibles a la turbidez y baja cantidad de oxígeno (Roldán 1996, Meltcalfe-Smith 1984); el orden Trichóptera contiene igualmente especies sensibles y tolerantes a la contaminación, *Smicridea sp.* y *Leptonema sp.* (F. Hydropsychidae) fueron muy abundantes en los tramos superiores del río, mientras en los sectores inferiores aparece frecuentemente *Helycopsyche* (F. Helycopsychidae) y especies de Glossomatidae, organismos que parecen soportar condiciones menos favorables; también, *Petrophila sp.* (Lepidóptera, Pyralidae), es otra especie asociada a corrientes muy turbulentas y con valores altos de oxígeno y ambientes pedregosos (Roldán 1996).

Los organismos de los órdenes Hemíptera y Odonata aparecieron en la mayoría de ambientes analizados de la cuenca, en el primer caso *Belostoma sp.*, *Naucoris sp.*, *Pelocoris* (Fam. Belostomatidae) y especies de la familia Veliidae, fueron muy frecuentes

(Figura 3). En el caso de Odonata, , la familia más abundante del Suborden Zigóptera fue Coenagrionidae y dentro del Suborden Anisóptera las familias Libellulidae y Gomphidae incluyeron la mayoría de las especies determinadas (Ver Cuadro 7).

Dentro del orden Coleóptera, la familia Ptylodactylidae (*Anchytarsus sp*) se encontró casi exclusivamente en corrientes rápidas y frescas (E01, E02 y E03); mientras que las familias Elmidae y Scirtidae (*Elodes sp.*) se encontraron en ambientes de mayor descomposición orgánica y bajos niveles de oxígeno como los reportados en los sectores del distrito de Zapotitán (E06, Cuadro 4). El orden Díptera fue muy escaso en las colecciones efectuadas, entre las pocas especies determinadas se encontraron *Culex* (Culicidae), *Tabanus sp.* (Tabanidae) y mayormente quironómidos (Chironomidae). Este grupo debería ser más investigado por su importancia como vectores de enfermedades por medio de evaluaciones sanitarias de las aguas superficiales por parte de las mismas comunidades y autoridades sanitarias locales.

La composición de las comunidades de insectos acuáticos (Figura 4) coincide con el nivel de diversidad (Cuadro 6), se destaca una mayor abundancia de familias y especies en los sectores superiores, asociados a condiciones más estables para estos organismos, mientras que en los sectores inferiores es notable la presencia de pocos géneros y especie aunque en poblaciones numerosas.

4.4.3 Aplicación del Índice biológico de contaminación

El índice de Hellawell Modificado (De Cardoso *et al.* 1993), aplicado a las familias de macroinvertebrados, cataloga las aguas basándose en los organismos presentes, según su tolerancia o sensibilidad a los cambios en las corrientes y constituye otra forma empírica de evaluar la calidad de las corrientes (Meltcalfe-Smith 1994, De Cardoso *et al* 1993). Este índice⁴, que asigna un puntaje convencional entre 0 y 10 a la tolerancia a la contaminación orgánica, fue aplicado a 25 Familias de los 9 Ordenes identificados, logró diferenciar de mejor manera los ambientes analizados, aspecto que es más difícil de

⁴ Escala de comparación: 61-100, algunos efectos de contaminación; 36-60, aguas contaminadas; 16-35, aguas muy contaminadas; menor de 15, aguas fuertemente contaminadas

deducir por medio del índice de calidad físico-química (ICA, Cuadro 5); una mejor condición en las desembocadura superiores, especialmente las del río Talnique, Quebrada Niágara y San José Los Sitios, dónde se logró un mejor puntaje al presentar grupos de organismos más exigentes de condiciones físico-químicas y estabilidad de los ambientes acuáticos; en Quebrada Niágara (E02) se redujo el nivel de calidad, de alguna manera identificado anteriormente por el índice de Shannon-Wiener (Figura 2, Cuadro 6). Los tramos de Talnique (E04) y el drenaje de Río Ateos (E05) obtuvieron la clasificación de aguas contaminadas.

La comparación entre los índices físico-químico (ICA), diversidad de especies y de Hellawell (Cuadro 10 y figura 5) determinó la sensibilidad de las mediciones biológicas para diferenciar el estado de calidad del agua e indirectamente el disturbio en los ambientes acuáticos analizados. El Índice de Hellawel guarda también una relación con el nivel de diversidad de organismos, por lo que una mejor determinación taxonómica ayudaría a la interpretación y comparaciones futuras.

Cuadro 10 Comparación de la variación entre el índice de calidad física química con la diversidad de macroinvertebrados y el índice de contaminación de Hellawell en las estaciones del Río Talnique y tributarios, marzo a junio de 2001.

Estación	Índice Físico-Químico ICA	Diversidad Shannon-Wiener	Índice Biótico de Hellawell
Drenaje Talnique o Chavarría (E01)	41 ± 9	2.7 ± 0.41	66 ± 14
Drenaje Quebrada Niágara (E02)	38 ± 2	2.27 ± 0.67	45 ± 13
Río Talnique San José Sitios (E03)	45 ± 10	2.96 ± 0.68	76 ± 16
Río Talnique Granja Avícola (E04)	40 ± 4.3	2.41 ± 0.81	38 ± 10
Drenaje Río Ateos (E05)	41 ± 7	2.3 ± 0.25	39 ± 17
Río Talnique Distrito Zapotitán (E06)	40 ± 12	2.14 ± 0.51	20 ± 6
Drenaje Canal Chuchucato (E07)	41 ± 2	1.46 ± 0.69	21 ± 5
Río Talnique Desembocadura (E08)	44 ± 3.4	2.0 ± 0.49	18 ± 6

La estructura y estado de conservación de las comunidades acuáticas está determinada también por otros factores distintos a la calidad del agua, por ejemplo Jones y Clark (1987) señalan las alteraciones de caudales, la abundancia de materia orgánica y alta turbidez en cauces dentro de zonas con desarrollo urbanístico como elementos limitantes, mientras Siewert *et al* 1990, indican que los efectos acumulados como la presencia de contaminantes químicos y la pérdida de hábitats son determinantes para el desarrollo de comunidades acuáticas. Whiles *et al* (2000), encontraron que los patrones de uso del suelo logran predecir también esta condición principalmente los cambios en las zonas riparias o aledañas a los cauces explican la salud de las corrientes, estos autores recomiendan atender factores como la sedimentación, entrada de nutrientes y agroquímicos al agua, y la pérdida de vegetación riparia, además de los requerimientos ecológicos de los organismos para lograr una mejor entendimiento de las aguas superficiales.

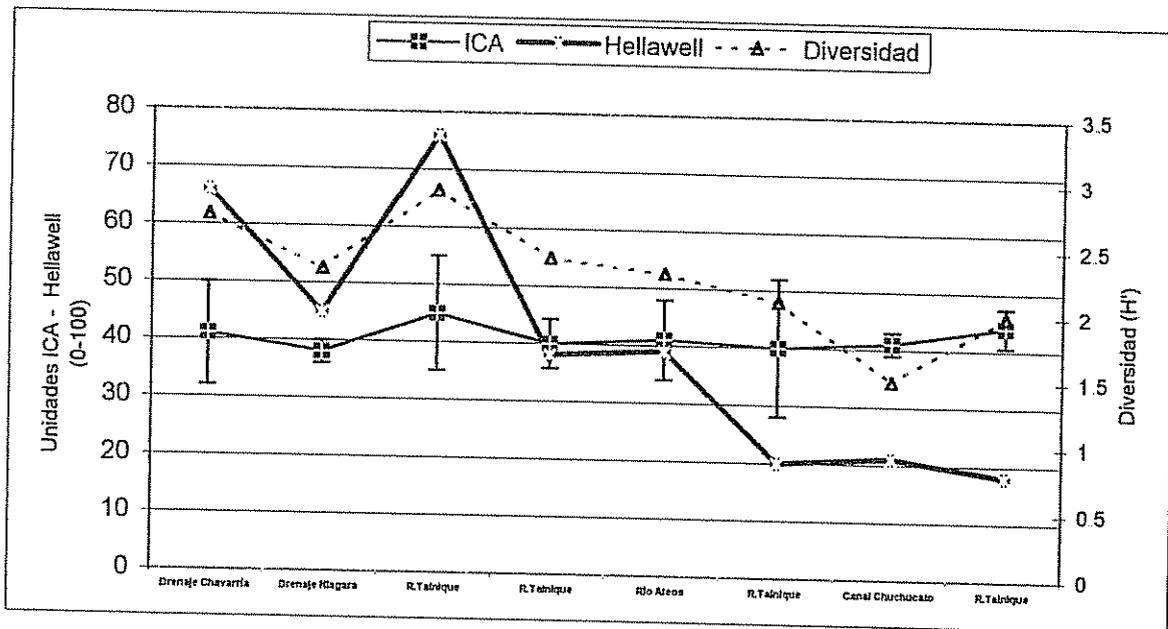


Figura 5. Variación en los promedios de los índices: Químico (ICA), Hellawell (Contaminación) y Diversidad de Especies en las estaciones del Río Talnique y tributarios.

Es evidente que la separación de sitios basado en la fauna de macroinvertebrados no corresponde a la misma clasificación hecha por los datos físico-químicos. Al respecto es necesario incorporar en el análisis los cambios en los hábitats y sustratos acuáticos pueden ser determinantes para favorecer el establecimiento o permitir una mayor variedad de formas acuáticas, esto explicaría en parte las diferencias en diversidad en sitios que presentaron rangos de calidad físico-química favorables. Por ejemplo las investigaciones de Hynes(1970) y Ward (1992) citados por Umaña (1998) establecen que sitios con sustratos más finos presentan menos desarrollo de fauna bentónica debido a la baja diversidad de sitios y la inestabilidad del sustrato. Ramírez *et al* (1998) encontraron que los tipos de hábitats en corrientes rápidas presentaron una mayor abundancia de macroinvertebrados en comparación con los hábitats de pozas. Igualmente destacan la importancia de la hojarasca por la disponibilidad de alimento y refugio de los depredadores. Los cambios en el tipo de sustrato más importantes, aparecieron en la cercanía del caserío Ateos, en la cuenca baja del Río, dónde el fondo de piedras se volvió más escaso mientras se incrementó la maleza acuática, una mayor profundidad del cauce y los bancos de arena fueron más comunes (Cuadro 2, Anexo 1C). Otro factor es la frecuencia y magnitud del disturbio e impactos en los ríos y cambios en los sustratos lo que afectar el establecimiento de las formas de vida (Umaña 1998), por esta razón aparte de conocer la diversidad total de invertebrados debe de atenderse los cambios en la composición de la comunidad lo que puede reflejar otro aspecto de la calidad del agua y estado de conservación de las corrientes (Umaña 1998).

Sobre la presencia de plancton, aún con escasa presencia en las muestras analizadas, se destacan formas de algas vinculadas al estado del agua (Cuadros 8 y 9), es notable una reducción de formas de algas Diatomeas en los sectores inferiores del río (UCA 2001). Las formas de protozoos y rotíferos están más vinculados con la presencia de descomposición orgánica en las corrientes, tal como lo sugieren los incrementos de DBO_5 en los sectores inferiores de la cuenca (Cuadro 4), y la presencia de amibas y quistes de helmintos determina claramente el riesgo de contaminación fecal en las aguas. El agrupamiento de estos organismo de acuerdo a su sensibilidad o tolerancia a la contaminación es otra forma de clasificación de calidad de las aguas lo cual requiere de mayor determinación de esta importante comunidad acuática.

4.5 Conclusiones

- 4.5.1 La aplicación del índice biótico de Hellawell basado en la presencia de organismos susceptibles y tolerantes a la contaminación orgánica parece discriminar fuertemente entre los sectores monitoreados, no así el índice físico-químico que por su naturaleza puntual es menos sensible a los impactos ocasionados.
- 4.5.2 El índice físico-químico recoge parámetros convencionales relacionados con la calidad para abastecimiento público, pero puede ser utilizado para considerar condiciones generales del estado de las aguas naturales.
- 4.5.3 Las variaciones de ciertas condiciones en las corrientes como la sucesión de sustratos y los cambios diurnos de condiciones físico-químicas, entre otras deben ser tomadas en cuenta para la interpretación de las mediciones físico-químicas.
- 4.5.4 La diversidad de la fauna bentónica constituye una medida de la estabilidad de los ambientes acuáticos y las condiciones de calidad del agua.
- 4.5.5 La composición de las comunidades de macroinvertebrados, fito y zooplancton entre los diferentes sectores de las corrientes aporta información relevante sobre el impacto de la contaminación.
- 4.5.6 El índice de calidad físico-químico de calidad puede mejorar su capacidad de clasificación de la calidad del agua si en su elaboración se consideran los niveles naturales de los parámetros convencionales para las condiciones locales de las cuencas y asegurar una buena estimación experimental e instrumental de las características físicas y químicas utilizadas en su cálculo.

4.6. Recomendaciones

- 6.1 Discutir el uso de los índices de calidad considerando sus ventajas en la simplificación de la información generada, tomar en cuenta aspectos de rangos naturales, criterios de calidad y su aplicación a las condiciones locales de contaminación.
- 6.2 Cada uso específico del agua dentro de la cuenca requiere de exigencias de calidad diferentes, ya sea riego, recreación, consumo u otra, por lo que el uso de índices debe de responder a los requerimientos propios de cada área.
- 6.3 Comparar el estado de desarrollo la comunidad de macroinvertebrados en otras cuencas de importancia y con diferentes nivel de contaminación
- 6.4 Realizar un esfuerzo en afinar la taxonomía de los organismos bentónicos. La distinción de especies o grupos indicadores de perturbación y estado de calidad es necesaria debido a la escasa información sobre el impacto en las comunidades biológicas y el estado de salud del medio acuático.
- 6.5 Estudiar la relación de los sustratos con los grupos de macroinvertebrados, para distinguir el impacto de la contaminación sobre los hábitats y la diversidad de macroinvertebrados.
- 6.6 Ensayar medidas de calidad o estado de las corrientes con elementos descriptores del estado de conservación o disturbio en los ecosistemas acuáticos, como presencia y características de la vegetación, tipo de fauna acuática, macroinvertebrados, condiciones morfológicas, nivel de amenaza o riesgos de contaminación, entre otros, que sean de aplicación preliminar y contribuya a la interpretación de datos convencionales de calidad.

Agradecimientos:

Agradezco la valiosa orientación de Jeannette Monterrosa para esta investigación, a Mónica Springer por el apoyo en determinación taxonómica de las muestras de macroinvertebrados.

4.7 Literatura citada

- Ayers, RS; Wescot, DW. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación, IT) 174 p. (Serie Riego y Drenaje 29).
- Branco, SD. 1984. Limnología Sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales OEA (Organización de Estados Americanos, US) 120 p. (Serie de biología No. 28)
- Begon M; Harper, JL; Townsend, CR. 1986 Ecology: individuals, populations and communities. 3rd. Ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 876 p.
- Browder, JA. 1988. Introduction: Aquatic organism as indicators of environmental pollution. *Water Resources Bulletin* 24(5): 927-929.
- Campbell, R 1987. Ecología microbiana, Editorial Limusa. México. 268 p.
- CCME (Canadian Council of Minister of the Environment). 1999. Canadian environmental quality guidelines. Canadian water quality guideline for the protection of aquatic life. 6 p.
- Canter, LW. 1998, Manual de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Trad. Echaniz *et al*. Madrid, 841 p.
- Cubillos, A. 1990?, Calidad del agua y control de la polución, CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, VE). 121 p. (Serie Ambiente y Recursos Naturales Renovables)
- De Cardoso, M del C; Rojas de Hernández, AM; Caicedo, G. 1993. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. *AINSA Año 13 (2)*: 17-28
- Dinius, SH.1987. Design of an index of water quality. *Water Resource Bulletin* 23(5): 833-843.
- DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables, SV) 1981. Mapa de unidades hidrogeológicas Valle de San Andrés. Esc. 1:50 000 Departamento de Hidrología Operativa. MAG(Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV).

- EPA (Environmental Protection Agency, US). 1976. Quality criteria for water. Washington 256 p.
- Esquivel, OA. 1998. Investigación aplicada sobre el impacto ambiental de la contaminación del agua en las cuencas de los ríos Sucio, Acelhuate y Cuaya. Universidad Centroamericana J.S.Cañas (UCA)/Fondo Iniciativa para las Américas (FIAES)
- Guillot M. 1995. Bioindicación: algunas consideraciones y reflexiones generales p. 169-182 *In*: Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Memoria de Seminario.
- IHD-WHO (World Health Organization, IT), 1978. Working Group on the Quality of Water. Water quality surveys: a guide for the collection and interpretation of water quality data. Rome 350.p (Reports in Hydrology no. 23)
- Jones, RC; Clark, CC. 1987. Impact of watershed urbanization on stream insect communities. *Water Resource Bulletin* 23(6): 1047-1055
- Lardé G; Jacinto, S. 1995. Características de las aguas residuales del café. Avance Técnico, marzo 2001. PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café)
- Lobo, JE. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
- Magurran, AE. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra. Trad. AM, Cirer. 199 p.
- McCutcheon, SC; Martin, JL; Barnwell, TO. 1992. Water quality. p. 11.1-11.53 *In*: Maidment, DR. ed. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill. NY.
- Metcalf-Smith, JL. 1994. Biological water-quality assessment of river: use of macroinvertebrate communities. p. 144-150 *In* Callow, P; Petts, GE. Eds. The river handbook. Blackwell Scientific Publications.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV) 2001. Almanaque Salvadoreño. DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables, SV). División de Hidrología y Meteorología. 65p.
- Monterrosa U, AJ. 1993. Caracterización de algas, protozoos, e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del río Chagüite (afluente del Lago de Ilopango), El Salvador. Tesis de Licenciatura para optar al grado de Licenciado en Biología. Universidad de El Salvador 262 p.
- Moss, B. 1988. Ecology of freshwaters. man and medium. 5.11 Lowland river channels 2nd. Ed. Blackwell Scientific Publications.

- PAES (Programa Ambiental de El Salvador) 1998. Análisis de resultados del monitoreo preliminar de contaminación de las subcuencas de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate. Subcomponente de Monitoreo de Recursos Hídricos MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV) / DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables, SV). 64 p.
- Ramírez, A; Paaby P; Prongle CM; Aguero G. 1998. Effect of habitats type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical stream, Costa Rica. *Rev. Biol* (6):201-213
- Repetto, G; Moran. AC. 1991. Apuntes sobre la calidad de las aguas de uso potable. CI (Cooperación Italiana, SV) / MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, SV). 66 pp.
- Roldán Pérez, G. 1996. Guía para el estudio de los macro invertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas, CIEN (Centro de Investigaciones, CO) Universidad de Antioquia 216 p.
- Salas, W. 1987. Respuesta experimental de las aguas contaminadas en la producción agrícola. Editorial UCR, San José CR. 112 p.
- SRN (Secretaría de Reconstrucción Nacional, SV) 1995. Prediagnóstico del Municipio de Sacacoyo, Presidencia de la República/ Gobierno de El Salvador.
- Seoanez, CM. 1999. Aguas residuales urbanas Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento 368 p. (Colección Ingeniería Medioambiental)
- Steffen J. 1999. The influence of different levels of pollution on the composition and distribution of macroinvertebrates in two rivers in Golfito, Costa Rica. *ACM tropical Field Research*. St.Olaf College. 19 p.
- Siewert, HF; Miller, CJ; Torke, BG. 1990. Water quality and macroinvertebrate populations before and after hazardous waste cleanup. *Water Resources Bulletin* 25 (3): 685-689.
- Umaña, GV. 1998. Characterization of some Golfo Dulce drainage basins rivers (Costa Rica) *Rev. Biol. Trop.* (6): 125-135
- Welcome, RL. 1992. Pesca fluvial. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 303 p. (Documento Técnico de Pesca 262).
- Westcot. DW. 1997. Quality control of wastewater for irrigated crop production. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). (Water Report No.10).
- Whiles, MR; Brock, BL; Franzen, AC; Dinsmore SC. 2000. Stream invertebrate communities, water quality, and land-use patterns in an agricultural drainage basin of Northeast Nebraska, USA. *Environmental Management* 26(5): 563-576

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- 5.1.1 Procesos derivados del uso actual de la cuenca como el beneficiado de café, la fertilización extensa en cultivos de ladera, caña de azúcar, desperdicios de la zafra, entre otros, inciden de forma temporal o permanente en la degradación de la calidad del agua y de los ambientes acuáticos. Los monitoreos de calidad del agua deben tener presente los períodos críticos y las áreas afectadas por dichas actividades.
- 5.1.2 El Río Talnique recibe impactos de los tributarios Ateos y Chucucato, pero las abundantes fuentes puntuales como botaderos, aportes de drenajes de aguas domésticas constituyen importantes fuentes de contaminación durante el periodo seco.
- 5.1.3 En los sectores medios y bajos del cauce en dónde se manifiesta la declinación general de la calidad del agua, aunque previo a su unión con el Río Sucio algunas cualidades logran recuperarse.
- 5.1.4 La producción de sedimentos en las subcuencas y los factores de manejo que contribuyen a este proceso merecen mayor análisis, pues el transporte de partículas en el medio constituye el mecanismo de difusión de otros contaminantes como agroquímico, materia fecal, metales pesados y nutrientes.
- 5.1.5 Es necesario afinar las metodologías de muestreo de las aguas para lograr un mayor acercamiento a los procesos de la contaminación y sus causas mediante la aplicación de enfoques más integrales y participativos. Los análisis centrados en problemas específicos de calidad contribuyen a obtener resultados en menor tiempo y más acorde a las necesidades de los usuarios.

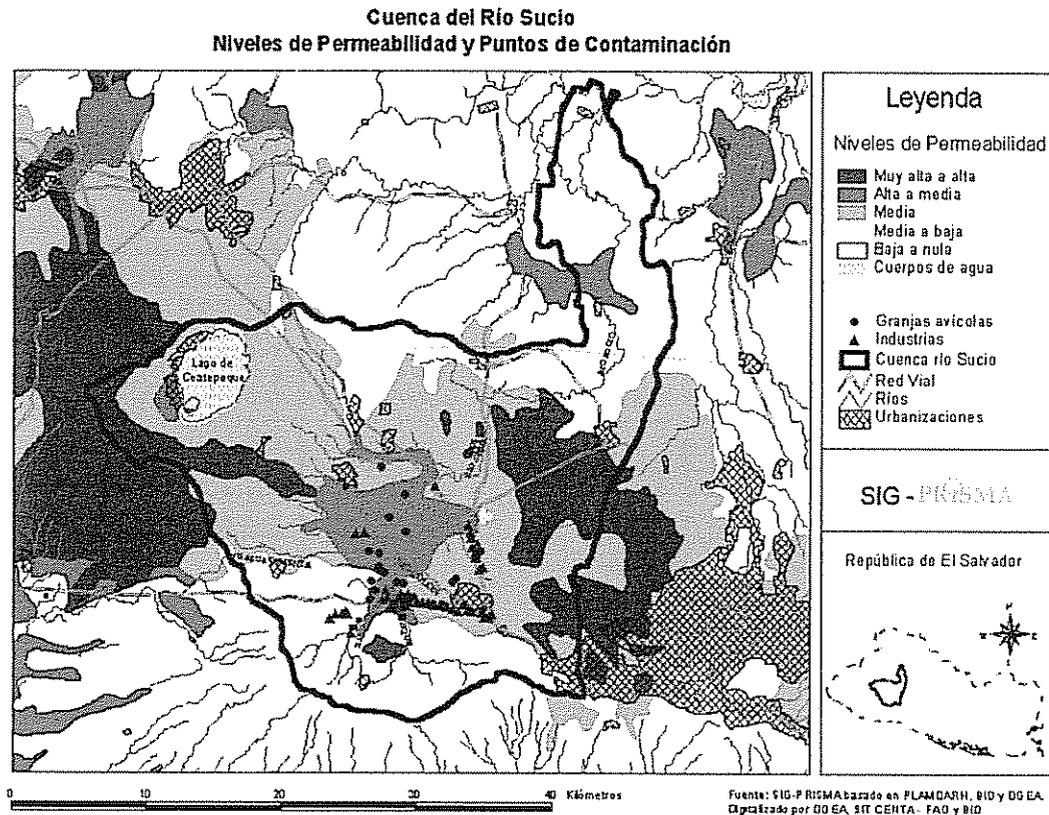
5.2 Recomendaciones

- 5.2.1 Para obtener un panorama más definido sobre el impacto y el alcance de fuentes principales de contaminación se deberá analizar los períodos de beneficiado de café, procesamiento de la caña de azúcar, fertilización de producción de desechos de las granjas avícolas y otros establecimientos pecuarios, así como la magnitud de la escorrentía durante la época lluviosa
- 5.2.2 La implementación de acciones de conservación de suelo y humedad en las zonas de cafetales, áreas de granos básicos en laderas, control de las cárcavas, protección y conservación de las áreas riparias o de borde de las corrientes superficiales y subterráneas constituyen acciones que podrían disminuir la pérdida de suelo y alteración de la calidad del agua superficial.
- 5.2.3 El cumplimiento de la normativa ambiental sobre el tratamiento y disposición de los desechos industriales y el ordenamiento del crecimiento urbano constituye un mecanismo necesario para la mitigación de la contaminación en la zona.
- 5.2.4 La participación de los actores y usuarios locales del agua como los comités de regantes, asociaciones de desarrollo local y de distribución rural de agua, además de las agencias gubernamentales de extensión agrícola y comunitaria, industria y gobierno local es clave para la coordinación más efectiva ante los problemas ambientales. Las gestiones de las iniciativas del Valle de San Andrés pueden contribuir a impulsar acciones específicas en torno al manejo de los desechos contaminantes y la conservación de las aguas superficiales y subterráneas en la zona.
- 5.2.5 El desarrollo de planes locales y ordenanzas ambientales en los municipios involucrados en la zona de la cuenca del Río Talnique debería de incluir aspectos como adopción de prácticas de saneamiento permanente por parte de las comunidades, el fomento de las medidas de conservación de suelo y agua, la protección inmediata de las fuentes de abastecimiento y el monitoreo del estado de calidad.

- 5.2.6 La información biológica colectada podrá servir de estudio base para futuras investigaciones aplicadas en otras cuencas con diferente escenarios de contaminación. Los análisis bióticos complementarios a las mediciones fisicoquímicas puede lograr un entendimiento más completo de la dinámica de degradación de los recursos hídricos.
- 5.2.7 Los índices asociados a los cambios en los patrones de uso de la tierra para la predicción de la calidad del agua superficial sobre todo en las alteraciones en las áreas riparias o del cauce pueden facilitar el estudio e interpretación de las tendencias de calidad y cantidad del agua en las cuencas hidrográficas.

ANEXOS

Anexo 1 A. Mapa de permeabilidad y puntos de contaminación en la cuenca del Río Sucio. Fuente: Prisma



Anexo 1 B. Población en municipios de la Cuenca del Río Talnique, cobertura de agua potable y saneamiento ambiental (Censo 1992, Secretaria Nacional de Reconstrucción, 1995)

Subcuenca Municipios	Población y acceso a fuentes de agua potable	Condiciones de saneamiento y drenajes domésticos
<u>Chavarría o Talnique</u> Talnique	Población: 6193 hab. Densidad: 208 hab.km ² Tasa crecimiento: negativa en 1.88 % anual No viviendas: 1 277 El 30% recibe servicio domiciliario de agua potable. El resto se abastece de pozos, ríos y manantiales	El 91% de las aguas residuales (1173 viv) es contaminantes, propagación de vectores. No existe servicio municipal de recolección de basura doméstica.
<u>Niágara</u> Jayaque	Población: 11401 hab. Densidad: 240 hab.km ² Tasa incremento: 12.51 % anual. No. viviendas: 1 452. Un 47% de cobertura de agua potable, 1170 viviendas	El 74% de aguas residuales son contaminantes, (1856 viviendas) no cuentan con sistemas de alcantarillas No existe servicio municipal de recolección de residuos domésticos
<u>Ateos</u> Tepecoyo Sacacoyo (Crío. Ateos)	Población: 10 838 hab. Densidad: 177 hab.km ² Tasa crecimiento: incremento en 1% anual. No. viviendas: 2193 Un 13.8 % equivalente a 302 viviendas cubre condiciones mínimas de potabilidad para uso y consumo doméstico. Población: 9183 hab. Densidad: 364 hab.km ² Tasa de crecimiento: 4.9% anual. No. viviendas: 1924 Un 25 % de las viviendas tiene acceso a servicio domiciliario de agua potable; 119 viviendas conectadas a servicio nacional de acueductos, otras 360 viviendas son atendidas por sistemas rurales de abastecimiento	Cerca de 2 002 viviendas, un 91.3% no cuentan con sistema de drenajes o alcantarilla de aguas domésticas. No existen sistemas de recolección de basura Un 91.27 % de las aguas residuales, es decir 1756 viviendas son contaminantes para río y fuentes de agua de donde se abastece la población. No existen sistemas de recolección de basura.



Fotografías. M Sagastizado

[1]



Anexo 1C. Cambios en las condiciones del cauce del Río Talnique:

[1] Sector de San José Los Sitios, Talnique, presencia de vegetación de ribera (riparia) y sustratos pedregosos;

[2] Distrito de riego Zapotitán, escasa vegetación de ribera, crecimiento de malezas acuáticas y sustratos arenosos-limosos.

[2]



Fotografías. M. Sagastizado

[1]

Anexo 1D Vertido de
desechos sólidos y líquidos a
las aguas superficiales:

[1] Basura doméstica en
comunidades del caserío
Ateos, Sacacoyo;

[2] Drenaje de aguas
domésticas en Jayaque,
Jayaque, La Libertad.

[2]

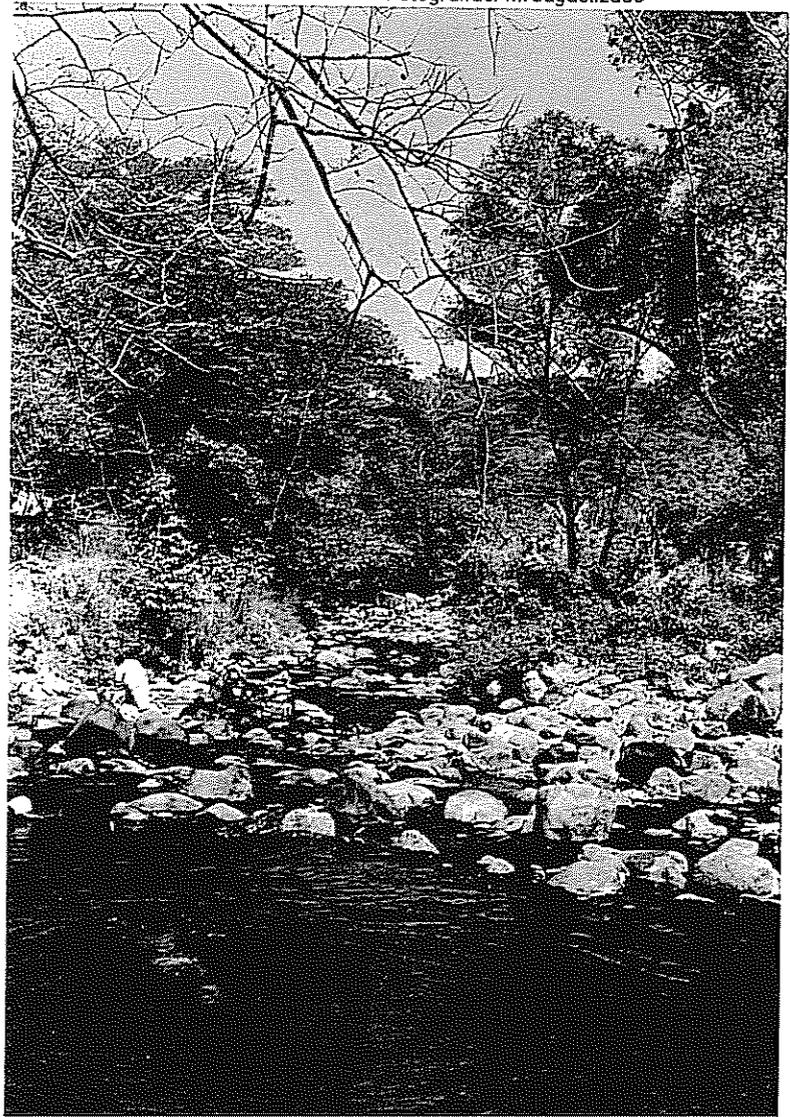




[1]

Fotografías: M. Sagastizado

[2]



Anexo 1E. Usos del agua
en la Cuenca del Río
Talnique:

[1] Captación de
manantiales para
abastecimiento en
comunidades de Ateos,
Sacacoyo.

[2] Usos domésticos en
Sector de San José Los
Sitios, Talnique.

Anexo 1F.
Aprovechamiento
del agua del canal
chuchucato para riego
agrícola.

[1] Represa móvil y
bocatoma para derivación
de agua al distrito de riego
de Zapotitán.

[2] Cultivos agrícolas en
zona de influencia del
Canal chuchucato, Caserío
Ateos.

[1]



Fotografías M Sagastizado

[2]





[1]

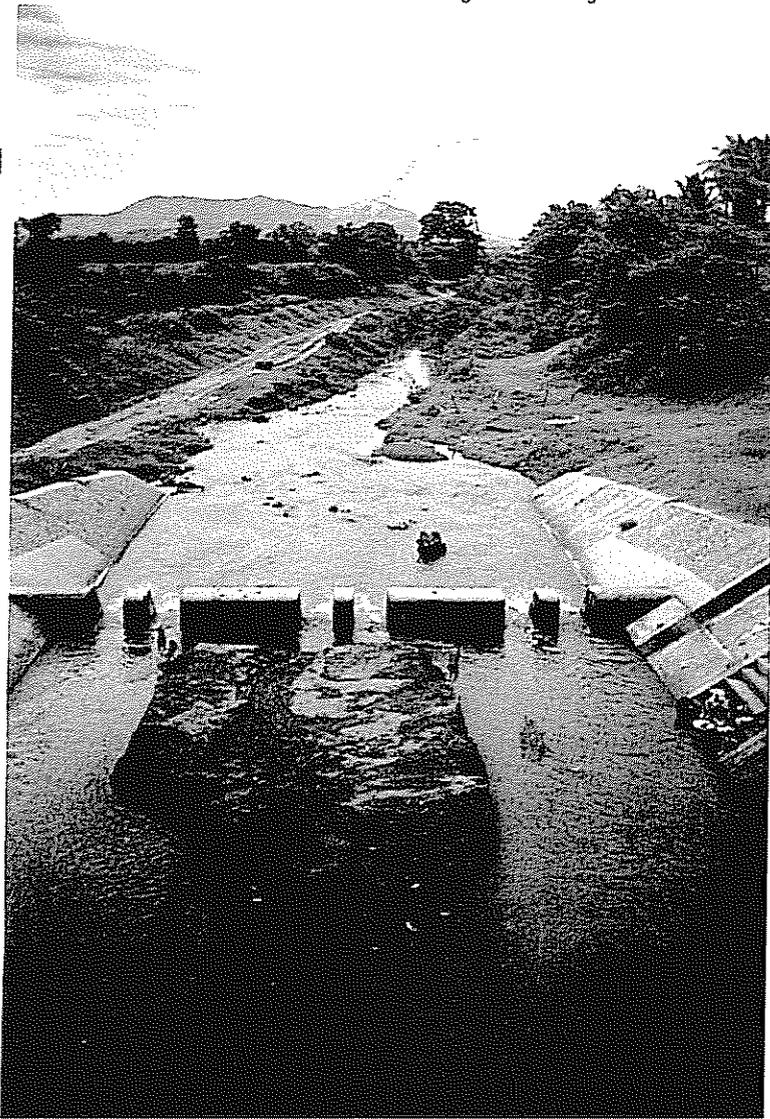
Fotografías: M. Sagastizado

[2]

Anexo 1G. Transporte de sedimentos en río Talnique:

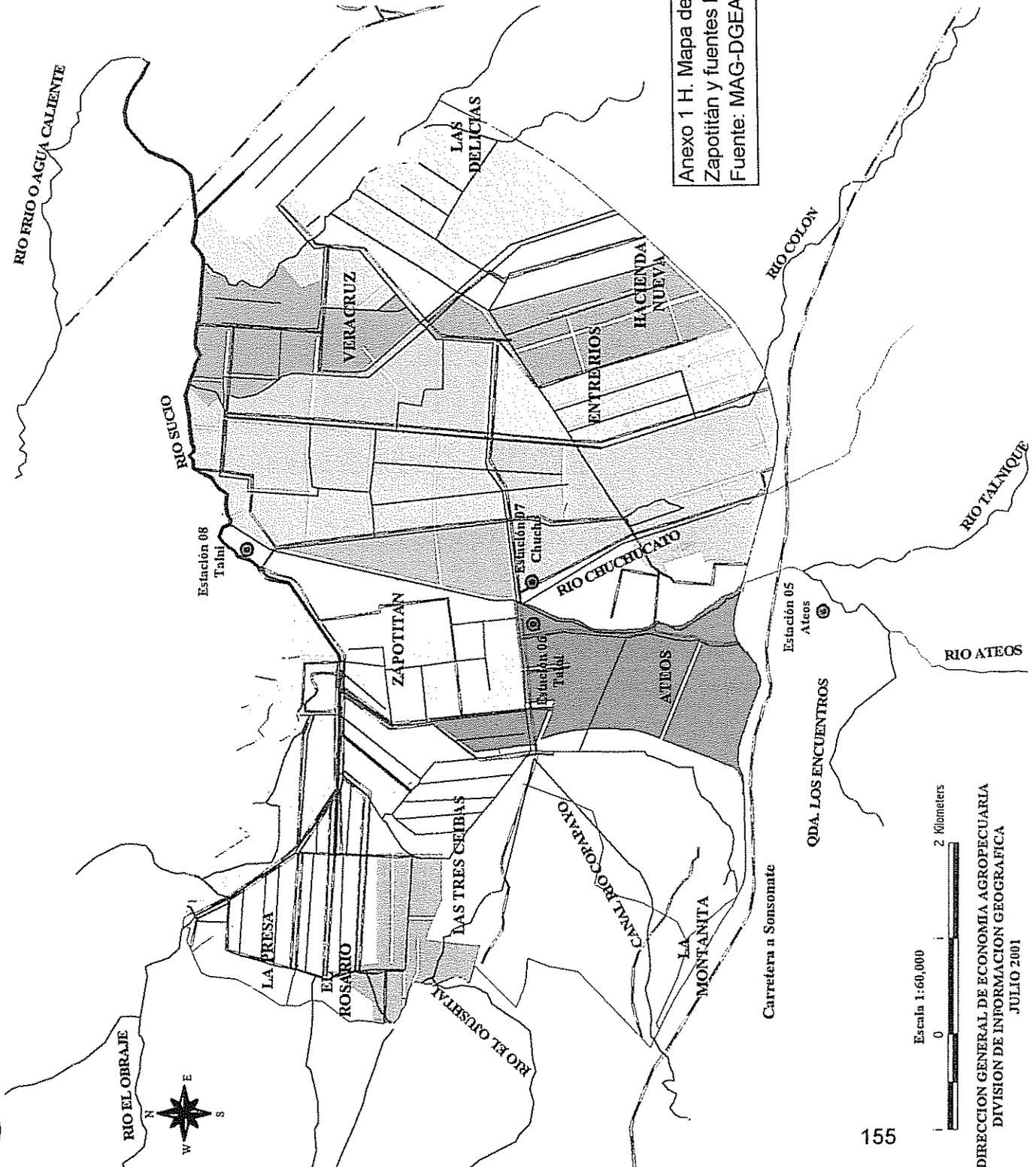
[1] Unión de los ríos Chuchucato (izquierda) y Talnique (derecha), nótese la diferencia en el nivel de turbidez (sólidos en suspensión) entre ambas corrientes.

[2] Depósito de sedimentos en la represa del sistema de riego Talnique, distrito Zapotitán.



- LEYENDA**
- Ríos de Fijido Permanente
 - Río rucio.shp
 - Río chuchucato.shp
 - Carretera Mejorada
 - Carretera Pavimentada
 - COMITE**
 - 11 DE OCTUBRE
 - ATEHUAN
 - BELEN
 - CANAL PRINCIPAL
 - CEIBA MOCHA
 - CHUCHUCATO
 - EL ASTILLERO
 - EL CHAFERNAL
 - EL GUINEO
 - EL PROGRESO
 - EL TIGRE
 - ENTRE RIOS
 - LA ISLA
 - LOS CUERRA
 - LOS PATOS
 - MONTECRISTO
 - NARANJOS
 - PEÑAS BLANCAS
 - PRESA COLON
 - RN 6
 - RN 7
 - TIGRE NUEVO

Anexo 1 H. Mapa del Distrito de riego de Zapotitán y fuentes hídricas superficiales. Fuente: MAG-DGEA 2001.



Escala 1:60,000

 0 2 Kilometers

BASE DE LA INFORMACION

El mapa fue elaborado con información proporcionada por la Dirección General de Riego y Drenaje.

ZONA DE ESTUDIO

Leyenda:

- Camino Principal Pavimentado
- Camino Mejorado
- Camino Transitable Verano
- Fierro
- Límite de Microcuencas
- BENEFICIOS
- CASERIOS O CASAS
- CORREDOR INDUSTRIAL O ESTADIOS
- GRANJAS
- LOTIFICACION O PARCELACIONES
- PLANTAS PROCESADORAS
- PLANTAS DE CARBON
- PLANTAS DE ALUMINIO
- PUERTO
- Cabañero Municipal

Rangos de Elevación

- 500 - 600
- 600 - 700
- 700 - 800
- 800 - 900
- 900 - 1000
- 1000 - 1100
- 1100 - 1200
- 1200 - 1400
- 1400 - 1500



Escala:

1:50000

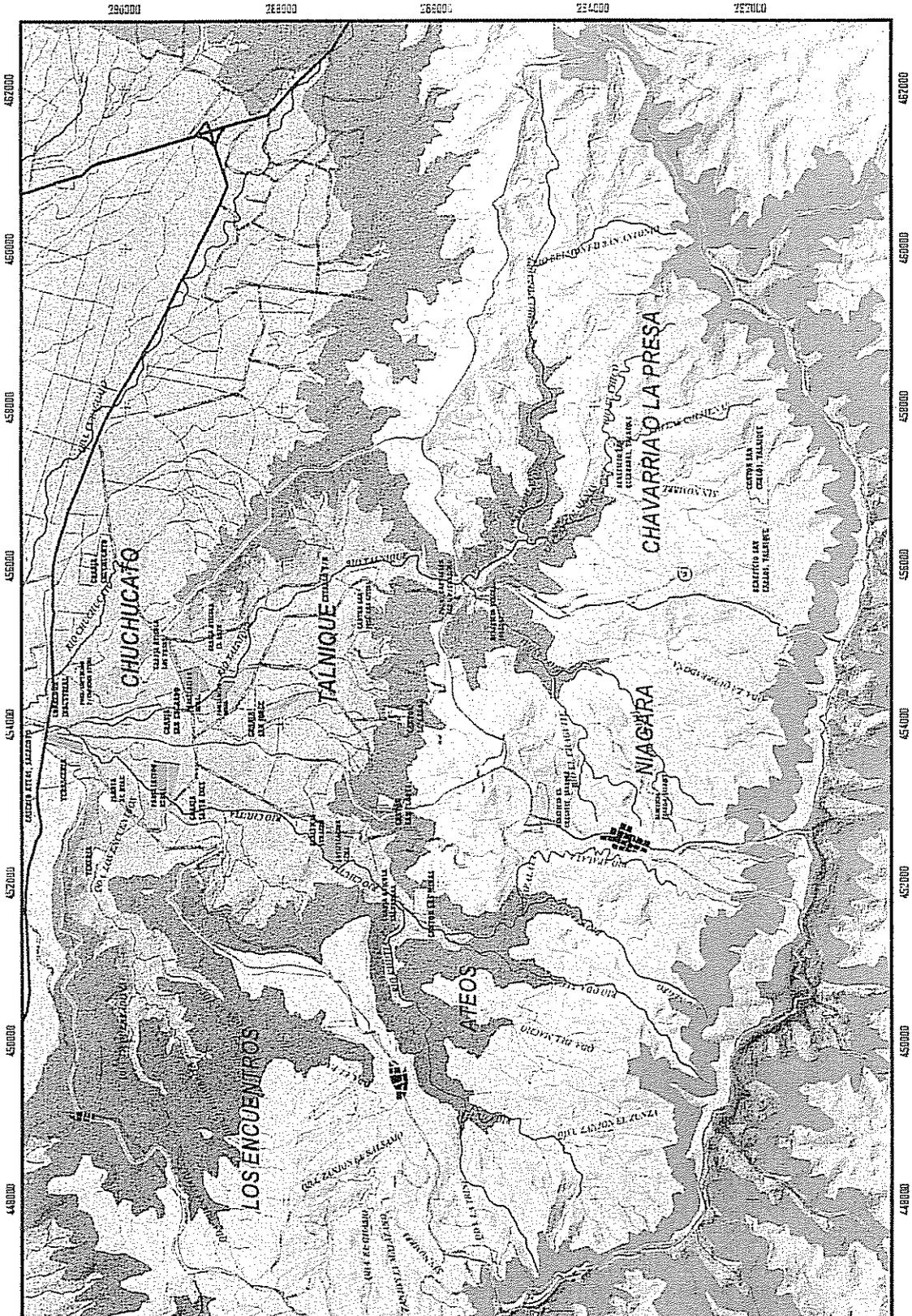


Kilómetros



ANEXO 1

Diputación Foral de Gipuzkoa. SIG-PAES



Anexo 1 i. Mapa de subcuencas del río Talnique y rangos de elevación en msnm. Fuente: SIG-PAES 2001.

MAPA DE PENDIENTES

Leyenda:

- Pendientes
- 0-3 %
 - 3-8 %
 - 8-12 %
 - 12-23 %
 - 23-30 %
 - >30 %

- Red de Drenaje
- Canal
 - Quebrada
 - Rio

- Camino Principal Pavimentado
- Camino Mejorado
- Camino Transitable Verano
- Piñuela

Limite de Microcuencas

- BEJERIOS
- CACERES
- CANTONES
- CORREDOR INDUSTRIAL O ESTABLOS
- GRANJAS
- LOTIFICACION O PARCELACIONES
- PLANTAS PROCESADORAS
- AGUA PLUVIAL
- PUEBLOS

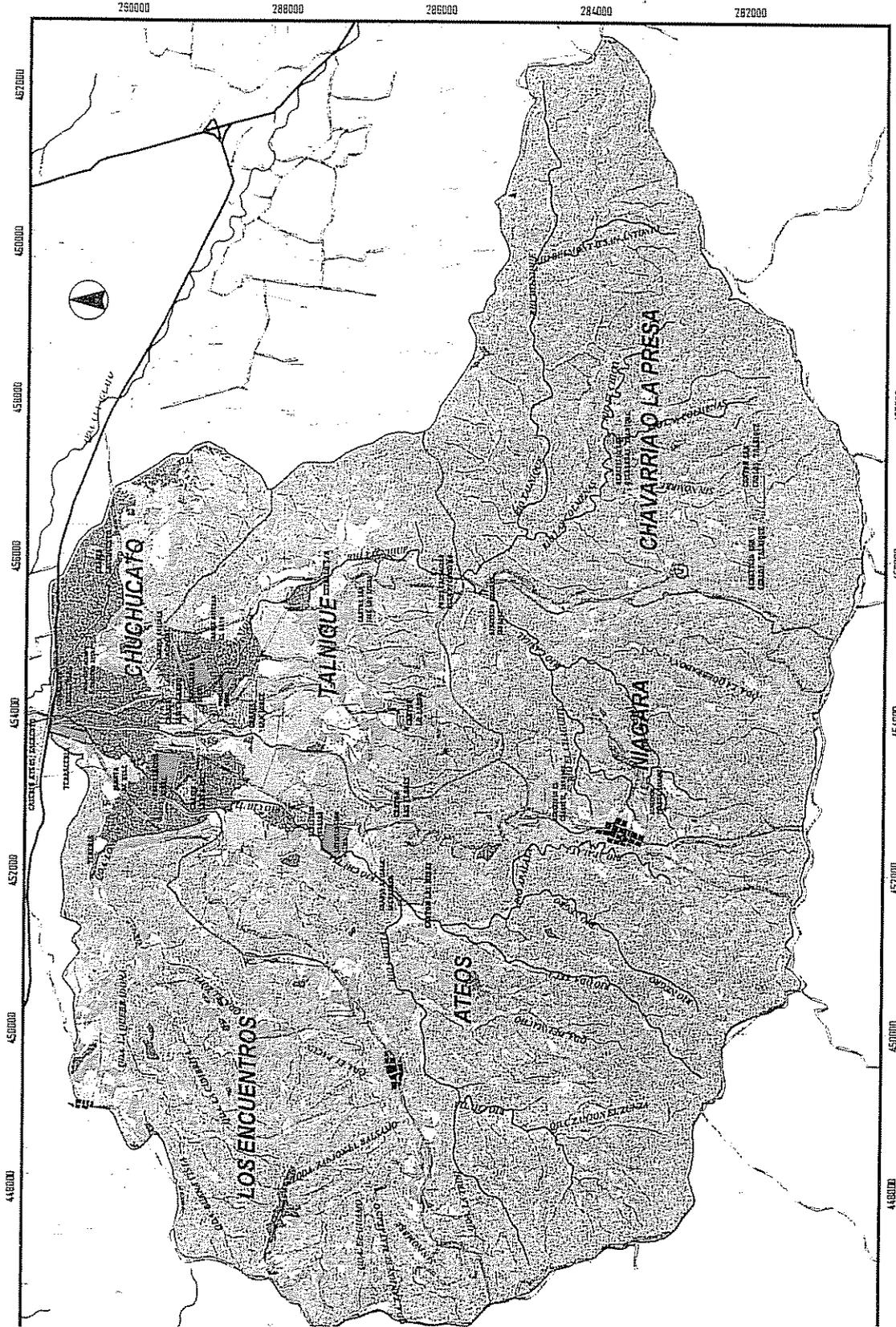
- Cabeceza Municipal

Escala:

1:50000



DIGANADA/ITERM/INIA/INIA/PAES



Anexo 1 J. Mapa de pendientes (%) de la cuenca del rio Taimique. Fuente: SIG-PAES 2001.

Anexo 2 A: Datos hidrométricos de las corrientes del Río Talnique y Tributarios
marzo - junio del 2001.

	E01 Drenaje Talnique ó Chavarría				E02 Quebrada Niágara			
	ancho (m)	prof.canal (m)	velocidad (ms ⁻¹)	caudal (m ³ s ⁻¹)	ancho (m)	prof.canal (m)	velocidad (ms ⁻¹)	caudal (m ³ s ⁻¹)
marzo	3.1	0.11	0.115	0.063	2	0.15	0.16	0.05
abril	-	-	-	-	1.4	0.13	0.19	0.037
mayo	2.6	0.11	0.13	0.083	1	0.09	0.41	0.098
junio	3	0.1	0.13	0.038	1.3	0.13	0.25	0.044
	E03 San José Los Sitios				E04 Río Talnique			
marzo	2.4	0.22	0.214	0.1	1.95	0.15	0.16	0.045
abril	3.7	0.31	0.09	0.127	2.1	0.31	0.12	0.064
mayo	4	0.33	0.1	0.137	2	0.26	0.18	0.101
junio	4.4	0.27	0.15	0.174	2.6	0.23	0.29	0.217
	E05 Drenaje de Río Ateos				E06 Río Talnique			
marzo	4.2	0.24	0.12	0.127	4.8	0.62	0.18	0.545
abril	3.9	0.24	0.12	0.134	6	0.47	0.23	0.59
mayo	4.5	0.36	0.16	0.275	3.8	0.56	0.33	0.693
junio	4.4	0.36	0.2	0.361	6.5	0.56	0.22	0.91
	E07 Drenaje de Canal Chuchucato				E08 Desembocadura Río Talnique			
marzo	1.3	0.17	0.2	0.048	4.8	0.35	0.1	0.189
abril	1.15	0.24	0.2	0.049	2.6	0.44	0.09	0.108
mayo	1.2	0.34	0.24	0.085	2.66	0.45	0.3	0.36
junio	1	0.48	0.42	0.203	5	0.48	0.4	1.484

Anexo 2 B Valores de parámetros de calidad del agua en
el Río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001

Parámetros

Estaciones y drenajes de tributarios del Río Talnique.

Nitrato NO ₃ (mg/l)	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
marzo	25.75	22.35	14.1	17.3	18.5	20.75	14.65	14.8
abril	6.65	10	9.15	7.15	21.25	23.5	25.85	22
mayo	28.3	27.2	26.65	32.2	11.2	24.45	14.7	16.8
junio	21	16.7	19.25	16.3	25.6	31	30.4	26.75
promedio	20.4	19.1	17.3	18.2	19.1	24.9	21.4	20.1
Desv.Estándar	9.7	7.4	7.5	10.4	6.0	4.3	8.0	5.4
Nitrito NO₂ (mg/l)								
marzo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
abril	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
mayo	0.019	0.0155	0.015	0.03	0.0275	0.362	0.0955	0.0445
junio	0.019	0.032	0.021	0.0095	0.125	0.375	0.0815	0.1435
Nitrógeno Amoniacal NH₄ (mg/l)								
marzo	0.26	0.255	0.265	0.35	0.285	0.675	1.085	0.285
abril	0.26	0.28	0.275	0.275	0.31	1.08	0.89	0.32
mayo	0.265	0.25	0.24	0.38	0.265	0.435	0.405	0.295
junio	0.68	1.525	1.1115	0.975	1.175	1.57	0.77	0.84
promedio	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.9	0.8	0.4
Desv.Estándar	0.2	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3
Fosfato PO₄ (mg/l)								
marzo	1.435	0.87	0.735	0.795	1.07	1.685	1.8	2.04
abril	0.61	0.63	0.755	1.4	0.73	1.895	1.98	1.815
mayo	0.65	0.69	0.6	28	1.02	1.87	1.73	2.31
junio	1.23	0.46	0.54	0.59	0.84	1.26	1.18	1.51
promedio	1.0	0.7	0.7	7.7	0.9	1.7	1.7	1.9
Desv.Estándar	0.4	0.2	0.1	13.5	0.2	0.3	0.3	0.3
Fósforo Total (mg/l)								
marzo	0.915	0.79	1.005	1.185	0.945	1.735	1.78	1.735
abril	0.98	1.01	1.045	1.225	0.945	2	1.245	1.785
mayo	1.06	1.055	0.835	35.375	1.27	1.89	1.98	1.84
junio	2	0.88	0.9	0.86	0.96	1.71	1.42	1.64
promedio	1.2	0.9	0.9	9.7	1.0	1.8	1.6	1.8
Desv.Estándar	0.5	0.1	0.1	17.1	0.2	0.1	0.3	0.1
Detergente (mg/l)								
marzo	0.018	0.035	0.046	0.013	1.01	1.68	1.81	1.87
abril	0	0	0	0	0	0	0	0
mayo	0.017	0.009	0.01	0.011	0.008	0.012	0.001	0.01
junio	0.003	0.008	0.004	0.052	0	0	0.007	0.015
promedio	0.01	0.01	0.02	0.02	0.25	0.42	0.45	0.47
Desv.Estándar	0.01	0.02	0.02	0.02	0.50	0.84	0.90	0.93

continuación

Anexo 2 B. Valores de parámetros de calidad del agua en
el Río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001

Cloruros	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
marzo	6.026	3.545	3.899	4.963	6.381	15.598	26.942	20.2065
abril	5.317	5.672	5.672	7.444	8.153	18.079	28.278	23.751
mayo	5.317	4.963	4.608	4.0608	6.595	14.889	24.106	17.725
junio	2.268	1.559	1.914	3.686	23.397	12.053	18.434	10.635
promedio	4.7	3.9	4.0	5.0	11.1	15.2	24.4	18.1
Desv.Estándar	1.7	1.8	1.6	1.7	8.2	2.5	4.4	5.5
Dureza (mg/l)								
marzo	281.6	294.4	336	220.8	195.2	272	492.8	323.2
abril	166.4	214.4	275.2	227.2	230.4	355.2	486.5	592
mayo	304	336	304	312	216	264	568	376
junio	176	128	122	96	216	200	416	2720
promedio	232.0	243.2	259.3	214.0	214.4	272.8	490.8	1002.8
Desv.Estándar	70.9	91.9	94.8	89.0	14.5	63.7	62.1	1150.7
Alcalinidad (mg/l)								
marzo	110	106	170	139	153	235	600	534
abril	93	105	165	103	154	205	337	293
mayo	177	202	195	99	151	202	277	426
junio	154	168	155	140	100	124	203	144
promedio	133.5	145.3	171.3	120.3	139.5	191.5	354.3	349.3
Desv.Estándar	38.8	48.0	17.0	22.3	26.4	47.4	172.8	168.6
T.ambiente (°C)								
marzo	32	30	33	34	34	33	30	29
abril	29	30	32	32	32	31	30	28
mayo	28.5	28	30.5	32.5	32.5	32	31.5	29
junio	28.5	28.5	30.5	33	31	30.5	29	27
promedio	29.5	29.1	31.5	32.9	32.4	31.6	30.1	28.3
Desv.Estándar	1.7	1.0	1.2	0.9	1.3	1.1	1.0	1.0
T.Agua (°C)								
marzo	20.3	19.8	23.9	28.8	26.9	28.1	25.6	22.6
abril	22.8	22.4	24.6	29.6	26.9	27.7	25.9	22.7
mayo	22.7	22.7	24.9	27.9	27.8	28.1	27.6	25.9
junio	22.8	22.9	25.6	31.8	26.8	26.4	25.7	24.9
promedio	22.2	22.0	24.8	29.5	27.1	27.6	26.2	24.0
Desv.Estándar	1.2	1.4	0.7	1.7	0.5	0.8	0.9	1.6
Potencial de Hidrógeno (pH, 1-14)								
marzo	7.17	7.24	7.41	7.32	7.74	7.67	7.78	7.91
abril	7.72	7.42	7.68	7.55	7.73	7.81	7.86	7.44
mayo	7.11	7.2	7.09	7.05	7.47	7.44	7.53	7.65
junio	7.68	7.51	7.63	7.72	7.08	7.36	7.71	7.53
promedio	7.4	7.3	7.5	7.4	7.5	7.6	7.7	7.6
Desv.Estándar	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2
Conductividad (umhos/cm)								
marzo	200	186	194	187	244	419	663	539
abril	201	184	193	184	249	438	930	582
mayo	201	174	189	178	252	375	595	465
junio	206	179	193	184	181	256	509	312
promedio	202.0	180.8	192.3	183.3	231.5	372.0	674.3	474.5
Desv.Estándar	2.7	5.4	2.2	3.8	33.8	81.7	181.8	118.6

continuación

Anexo 2 B. Valores de parámetros de calidad del agua en
el Río Talnique y tributarios, marzo - junio del 2001

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
Turbidez (NTU)								
marzo	8	4	17	33	7	18	13	19
abril	3	2	13	18	8	3	7	2
mayo	7	6	16	12	4	4	11	7
junio	278	79	136	254	999	496	9	91
promedio	74.0	22.8	45.5	79.3	254.5	130.3	10.0	29.8
Desv.Estándar	136.0	37.5	60.4	116.8	496.3	243.9	2.6	41.5
Oxígeno Disuelto (mg/l) Método Winkler								
marzo	8	8	8.8	10	8.91	9.35	7.51	8.52
abril	7.61	7.2	9.6	8.8	8.4	8	5.6	6.8
mayo	7.4	7.6	8	10.4	6.2	5	6.6	7
junio	8	8.4	8.4	7.2	5.2	4.4	6	5.6
promedio	7.8	7.8	8.7	9.1	7.2	6.7	6.4	7.0
Desv.Estándar	0.3	0.5	0.7	1.4	1.8	2.4	0.8	1.2
Oxígeno Disuelto Método de Sonda HORIBA								
marzo	7.23	7.11	7.54	6.81	6.69	5.58	4.24	5.21
abril	7.61	7.27	6.02	7.52	5.31	5.98	4.15	5.92
mayo	6.24	6.34	6.36	6.88	4.81	3.47	4.89	4.87
junio	6.34	6.64	5.96	5.2	4.41	3.92	4.48	4.54
promedio	6.9	6.8	6.5	6.6	5.3	4.7	4.4	5.1
Desv.Estándar	0.7	0.4	0.7	1.0	1.0	1.2	0.3	0.6
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_{5,20})								
marzo	6.63	8.37	7.2	11.41	8.85	7.93	10.19	9
abril	3.04	1.67	1.67	3.33	4.2	6.5	10	6.56
mayo	1.56	2.07	2.1	1.4	1.14	1.03	10.8	2.8
junio	3.94	3	3.92	4.67	3.67	6.08	1.67	3.6
promedio	3.8	3.8	3.7	5.2	4.5	5.4	8.2	5.5
Desv.Estándar	2.1	3.1	2.5	4.4	3.2	3.0	4.3	2.8
Coliformes fecales (NMP/100 ml)								
marzo	1500	24000	43	9300	900	14.66	933	933
abril	240	2400	93	21000	1500	9300	2400	1500
mayo	24000	21000	9300	4600	24000	150	11000	1500
Coliformes Totales (NMP/100 ml)								
marzo	1500	24000	2400	46000	96000	933	150000	150000
abril	9300	11000	460	21000	11000	46000	4600	24000
mayo	460000	150000	110000	110000	46000	4600	46000	11000
Grasas								
marzo	8.2	5.8	10	14.4	23	7.8	16.4	14.8
abril	5	10.6	16.4	13.2	8.2	9	13.8	11
mayo	22	26.8	22.8	53.4	16.4	11.8	29.2	37.8
promedio	11.7	14.4	16.4	27.0	15.9	9.5	19.8	21.2
Desv.Estándar	9.0	11.0	6.4	22.9	7.4	2.1	8.2	14.5
Caudal								
marzo	0.063	0.050	0.100	0.045	0.127	0.545	0.048	0.189
abril	0.040	0.037	0.127	0.064	0.134	0.590	0.049	0.108
mayo	0.083	0.098	0.137	0.101	0.275	0.693	0.085	0.36
junio	0.038	0.044	0.174	0.217	0.361	0.910	0.203	1.489
promedio	0.06	0.06	0.13	0.11	0.22	0.68	0.10	0.54
Desv.Estándar	0.02	0.03	0.03	0.08	0.11	0.16	0.07	0.64

Anexo 2 C. Cuadro Resumen de Carga de Nutrientes y Compuestos
Río Talnique y Tributarios, La Libertad

Sitios	Demanda Biológica de Oxígeno DBO (kg.día ⁻¹)				Nitrato NO ₃ (kg.día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	36	11	11	13	140	23	203	69
Quebrada Niágara	36	5	18	11	96	32	230	63
Río Talnique (1.1)	62	18	25	59	122	100	315	289
Río Talnique (4.7)	44	18	12	88	67	40	281	306
Drenaje Río Ateos	97	49	27	114	203	246	266	798
Río Talnique (9.5)	373	331	62	478	977	1198	1464	2437
Canal Chuchucato	42	42	79	29	61	109	108	533
Río Talnique (12.7)	147	61	87	463	242	205	523	3441

Sitios	Nitrogeno Amoniaco NH ₄ (kg.día ⁻¹)				Nitrogeno Total NT (kg.día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	1.4	0.9	1.9	2.2	120	16	157	--
Quebrada Niágara	1.1	0.9	2.1	5.8	34	60	106	--
Río Talnique (1.1)	2.3	3.0	2.8	16.7	54	155	149	--
Río Talnique (4.7)	1.4	1.5	3.3	18.3	24	26	110	--
Drenaje Río Ateos	3.1	3.6	6.3	36.7	69	326095	410	--
Río Talnique (9.5)	31.8	55.1	26.1	123.4	517	240	1409	--
Canal Chuchucato	4.5	3.8	3.0	13.5	13	27	81	--
Río Talnique (12.7)	4.7	3.0	9.2	108.1	77	88	878	--

Sitios	Fosfatos PO ₄ (kg.día ⁻¹)				Fósforo Total (kg.día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	8	2	5	4	5	3	8	7
Quebrada Niágara	4	2	6	2	3	3	9	3
Río Talnique (1.1)	6	8	7	8	9	11	10	14
Río Talnique (4.7)	3	8	244	11	5	7	309	16
Drenaje Río Ateos	12	8	24	26	10	11	30	30
Río Talnique (9.5)	79	97	112	99	82	102	113	134
Canal Chuchucato	7	8	13	21	7	5	15	25
Río Talnique (12.7)	33	17	72	194	28	17	57	211

Continuación...

Anexo 2 C. Cuadro Resumen de Carga de Nutrientes y Compuestos
Río Talnique y Tributarios, La Libertad

Sitios	Cloruros Cl (kg día ⁻¹)				Sólidos Suspendidos (kg día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	33	18	38	7	555	276	287	2298
Quebrada Niágara	15	18	42	6	626	128	169	2281
Río Talnique (1.1)	34	62	55	29	1572	439	947	7817
Río Talnique (4.7)	19	41	40	69	311	442	1222	17624
Drenaje Río Ateos	70	94	157	730	1975	1621	2851	278218
Río Talnique (9.5)	734	922	891	948	12243	2039	3593	108501
Canal Chuchucato	112	120	177	323	498	593	147	1403
Río Talnique (12.7)	330	222	551	1368	980	747	2488	41168

Sitios	Sólidos Disueltos SD (kg día ⁻¹)				Sólidos Totales (kg día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	14479	8847	20366	10900	15023	9953	21083	12739
Quebrada Niágara	10109	7417	22015	9960	10714	8567	22353	10721
Río Talnique (1.1)	22118	29407	31012	45101	23674	31163	32906	49611
Río Talnique (4.7)	10031	13824	22689	54747	10342	14930	23038	76870
Drenaje Río Ateos	39941	32186	72230	81719	42048	42142	75200	345590
Río Talnique (9.5)	250508	226333	235908	273612	262986	247743	240698	397837
Canal Chuchucato	33841	29127	50233	100675	34380	31413	52877	99623
Río Talnique (12.7)	107775	56920	149299	488868	108886	57480	153654	522317

Sitios	Detergentes (kg día ⁻¹)				Grasas y Aceites (kg día ⁻¹)			
	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio	1° m/marzo	2° m/abril	3° m/mayo	4° m/junio
Río Talnique (0)	0	--	0	0	45	17	158	--
Quebrada Niágara	0	--	0	0	25	34	227	--
Río Talnique (1.1)	0	--	0	0	86	180	270	--
Río Talnique (4.7)	0	--	0	1	56	73	466	--
Drenaje Río Ateos	11	--	0	0	252	95	390	--
Río Talnique (9.5)	79	--	1	0	367	459	707	--
Canal Chuchucato	8	--	0	0	68	58	214	--
Río Talnique (12.7)	31	--	0	2	242	103	1176	--

Anexo 2 D. Cálculo del Índice General de Calidad (ICA)

Mes: Marzo de 2001

Parametro	Peso: W	I/E01	ICA: (I) ^w	I/E02	ICA: (I) ^w	I/E03	ICA: (I) ^w	I/E04	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	92	2.16	92	2.16	98	2.18	83	2.12
Coliformes Fecales	0.15	18	1.54	8	1.37	48	1.79	9	1.39
PH	0.12	92	1.72	92	1.72	93	1.72	93	1.72
DBO _{5,20}	0.1	48	1.47	34	1.42	35	1.43	28	1.40
Nitratos	0.1	26	1.39	29	1.40	41	1.45	34	1.42
Fosfato	0.1	42	1.45	43	1.46	40	1.45	39	1.44
Diferencia Temperatura	0.1	15	1.31	16	1.32	18	1.34	37	1.43
Turbidez	0.08	78	1.42	88	1.43	66	1.40	48	1.36
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			40.1		35.3		47.6		36.1

Parametro	Peso: W	I/E05	ICA: (I) ^w	I/E06	ICA: (I) ^w	I/E07	ICA: (I) ^w	I/E08	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	96	2.17	89	2.14	93	2.16	99	2.18
Coliformes Fecales	0.15	20	1.57	49	1.79	20	1.57	20	1.57
PH	0.12	92	1.72	93	1.72	92	1.72	91	1.72
DBO _{5,20}	0.1	32	1.41	32	1.41	30	1.41	31	1.41
Nitratos	0.1	34	1.42	32	1.41	40	1.45	40	1.45
Fosfato	0.1	41	1.45	31	1.41	31	1.41	31	1.41
Diferencia Temperatura	0.1	26	1.39	40	1.45	56	1.50	30	1.41
Turbidez	0.08	80	1.42	62	1.39	73	1.41	61	1.39
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			42.7		47.8		44.7		41.9

Mes: Abril de 2001

Parametro	Peso: W	I/E01	ICA: (I) ^w	I/E02	ICA: (I) ^w	I/E03	ICA: (I) ^w	I/E04	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	92	2.16	98	2.18	92	2.16	92	2.16
Coliformes Fecales	0.15	32	1.68	16	1.52	67	1.88	8	1.37
PH	0.12	94	1.72	93	1.72	94	1.72	94	1.72
DBO _{5,20}	0.1	70	1.53	84	1.56	84	1.56	68	1.52
Nitratos	0.1	68	1.52	54	1.49	57	1.50	65	1.52
Fosfato	0.1	41	1.45	40	1.45	40	1.45	38	1.44
Diferencia Temperatura	0.1	28	1.40	23	1.37	24	1.37	77	1.54
Turbidez	0.08	95	1.44	7	1.17	72	1.41	64	1.39
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			53.9		38.9		58.0		46.3

Parametro	Peso: W	I/E05	ICA: (I) ^w	I/E06	ICA: (I) ^w	I/E07	ICA: (I) ^w	I/E08	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	98	2.18	98	2.18	77	2.09	85	2.13
Coliformes Fecales	0.15	18	1.54	9	1.39	15	1.50	17	1.53
PH	0.12	93	1.72	92	1.72	92	1.72	93	1.72
DBO _{5,20}	0.1	62	1.51	48	1.47	30	1.41	48	1.47
Nitratos	0.1	30	1.41	28	1.40	26	1.39	29	1.40
Fosfato	0.1	42	1.45	28	1.40	26	1.39	30	1.41
Diferencia Temperatura	0.1	40	1.45	70	1.53	60	1.51	38	1.44
Turbidez	0.08	78	1.42	95	1.44	83	1.42	95	1.44
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			46.6		41.8		39.70		42.8

Continuación Anexo 2 D. Cálculo del Índice General de Calidad (ICA)

Mes: Mayo de 2001

Parametro	Peso: W	I/E01	ICA: (I) ^w	I/E02	ICA: (I) ^w	I/E03	ICA: (I) ^w	I/E04	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	87	2.14	90	2.15	98	2.18	84	2.12
Coliformes Fecales	0.15	7	1.34	7	1.34	9	1.39	12	1.45
PH	0.12	92	1.72	92	1.72	92	1.72	92	1.72
DBO _{5 20}	0.1	90	1.57	80	1.55	80	1.55	88	1.56
Nitratos	0.1	22	1.36	24	1.37	25	1.38	20	1.35
Fosfato	0.1	40	1.45	40	1.45	43	1.46	37	1.43
Diferencia Temperatura	0.1	32	1.41	38	1.44	35	1.43	50	1.48
Turbidez	0.08	80	1.42	84	1.43	68	1.40	72	1.41
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			38.8		39.7		41.3		42.5

Parametro	Peso: W	I/E05	ICA: (I) ^w	I/E06	ICA: (I) ^w	I/E07	ICA: (I) ^w	I/E08	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	86	2.13	70	2.06	87	2.137	88	2.14
Coliformes Fecales	0.15	7	1.34	35	1.70	9	1.390	18	1.54
PH	0.12	93	1.72	94	1.72	94	1.725	94	1.72
DBO _{5 20}	0.1	90	1.57	90	1.57	30	1.405	75	1.54
Nitratos	0.1	52	1.48	27	1.39	42	1.453	38	1.44
Fosfato	0.1	37	1.43	29	1.40	27	1.390	30	1.41
Diferencia Temperatura	0.1	52	1.48	55	1.49	56	1.496	70	1.53
Turbidez	0.08	90	1.43	90	1.43	73	1.410	82	1.42
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	2.271	20	1.27
ICA			44.4		50.2		69.6		49.0

Mes: Junio de 2001

Parametro	Peso: W	I/E01	ICA: (I) ^w	I/E02	ICA: (I) ^w	I/E03	ICA: (I) ^w	I/E04	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	94	2.16	98	2.18	100	2.19	98	2.18
Coliformes Fecales	0.15	7	1.34	7	1.34	9	1.39	12	1.45
PH	0.12	92	1.72	93	1.72	92	1.72	92	1.72
DBO _{5 20}	0.1	65	1.52	75	1.54	65	1.52	60	1.51
Nitratos	0.1	30	1.41	40	1.45	32	1.41	40	1.45
Fosfato	0.1	28	1.40	42	1.45	42	1.45	42	1.45
Diferencia Temperatura	0.1	33	1.49	34	1.42	40	1.45	90	1.57
Turbidez	0.08	5	1.14	24	1.29	5	1.14	5	1.14
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			31.9		37.9		34.1		39.1

Parametro	Peso: W	I/E05	ICA: (I) ^w	I/E06	ICA: (I) ^w	I/E07	ICA: (I) ^w	I/E08	ICA: (I) ^w
Oxígeno % Saturación	0.17	68	2.05	45	1.91	72	2.07	75	2.08
Coliformes Fecales	0.15	7	1.34	3	1.18	9	1.39	18	1.54
PH	0.12	90	1.72	92	1.72	93	1.72	93	1.72
DBO _{5 20}	0.1	67	1.52	47	1.47	88	1.56	67	1.52
Nitratos	0.1	27	1.39	21	1.36	21	1.36	27	1.39
Fosfato	0.1	41	1.45	32	1.41	35	1.43	33	1.42
Diferencia Temperatura	0.1	50	1.48	53	1.49	71	1.53	80	1.55
Turbidez	0.08	5	1.14	5	1.14	76	1.41	20	1.27
Sólidos Totales	0.08	20	1.27	20	1.27	20	1.27	20	1.27
ICA			30.9		23.5		41.3		41.6

Anexo 3 A. Determinación taxonómica de los Macroinvertebrados presentes en Río Talnique y Tributarios
(El número entre paréntesis corresponde al valor asignado por el índice de contaminación de Hellawell modificado, cuya escala es entre 0 y 10)

Orden	presencia de macroinvertebrados en Estaciones de la Cuenca								Características observadas /importancia				
	Familia	Género	E1	E2	E3	E4	E5	E6		E7	E8		
Megaloptera,	Coridaliidae (10)*										predominan en aguas corrientes		
		<i>Corydalus</i>	x	x	x			x				aguas limpias y corrientes	
		<i>Chloronia</i>			x							aguas limpias	
Plecoptera	Perlidae (10)*	<i>Anacroneuria</i>	x		x						aguas limpias, muy oxigenadas y frías		
Lepidoptera	Pyralidae (8)*	<i>Pethrophila</i>	x		x						aguas corrientes, limpias		
Hemiptera,	Belostomatidae												
		<i>Belostoma</i>	x	x	x	x	x	x				predomina en aguas corrientes y frías	
		<i>Lethocerus</i>								x			
	Naucoridae (5)*	<i>Limnocoris</i>								x		aguas corrientes, baja turbidez	
		<i>Naucoris</i>	x			x	x						
		<i>Pelocoris</i>			x	x							
	Hebridae	<i>Hebrus</i>											
	Ochteridae	<i>SD</i>											
	Veliidae	<i>Ragovelia</i>	x										
		<i>Microvelia</i>											
Odonata,													
Zigoptera	Calopterygidae (8)*	<i>Hetaerina</i>		x						x		aguas corrientes a lentas	
	Coenagrionidae (6)*	<i>Acanthagrion</i>						x				aguas corrientes a lentas	
		<i>Argia</i>	x		x		x	x				aguas corrientes a lentas	
		<i>Leptobasis</i>								x		aguas corrientes a lentas	
		<i>Nehalania</i>				x	x			x		aguas corrientes a lentas	
	Platysticidae	<i>Palaemnema</i>										aguas corrientes a lentas	
Anisoptera	Aeshnidae (8)*	<i>Coryphaea</i>										aguas corrientes a lentas	
		<i>Remartinia</i>					x				x	aguas corrientes a lentas	
	Libellulidae (8)*	<i>Bregchmorhoga sp</i>	x		x							aguas corrientes a lentas	
		<i>Dythemis</i>					x				x	aguas corrientes a lentas	
		<i>Miathyria</i>										aguas corrientes a lentas	
	Gomphidae (8)*	<i>Ephigomphus</i>			x	x	x					aguas corrientes a lentas	
		<i>Erpetogomphus</i>					x					aguas corrientes a lentas	
		<i>Phyllogomphoides</i>			x	x						aguas corrientes a lentas	
	Trichoptera	Calamoceratidae (10)	<i>Phylloicus</i>				x	x					aguas corrientes a lentas
		Hidroptilidae	<i>Hidroptila</i>			x							aguas limpias
<i>Ochrotrichia</i>			x	x									
Helycopsychidae (8)*		<i>Helycopsyche</i>	x		x	x	x					tolera contaminación orgánica	
Hydropsychidae(10)*		<i>Leptonema</i>	x	x	x							aguas corrientes, limpias	
		<i>Smicridea</i>	x	x	x						x	Aguas corrientes limpias	
Philopotamidae (6)*		<i>Chimarra</i>				x	x					tolera contaminación orgánica, aguas cálidas	
Glossomatidae (7)		<i>SD</i>			x	x							

Continuación Anexo 3A.

Orden	Familia	Género	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Características observadas /importancia	
Ephemeroptera	Baetidae (4)* ¹	<i>Baetodes</i>			x ²						tolera contaminación	
		<i>Calibaetidius</i>					x					
		<i>Calibaetis</i>						x			tolera contaminación	
		<i>Camelobaetidius</i>		x					x			
		<i>Mayobaetis</i>										
	Leptophlebiidae(10)	<i>Thraulodes</i>		x	x	x						aguas limpias, corrientes oxigenadas
		<i>Farrodes</i>				x						
		Leptohyphidae (7)*	<i>Leptohypes</i>		x		x					
	<i>Tricorythodes sp</i>			x	x	x		x		x		tolera contaminación
	<i>Vacupemius packerii</i>						x		x			tolera contaminación
Coleoptera	Dryopidae	<i>Dryops</i>		x	x							
		<i>Helichus</i>			x							
	Elmidae (7)*	<i>Heterelmis</i>				x						
		<i>Hexacylloepus</i>				x						
		<i>Macrelmis</i>		x		x	x					
		<i>Microcyllloepus</i>			x	x						
		<i>Neocyllopus</i>				x						
	Hydrophilidae	<i>SD</i>									x	
	Ptylodactylidae10*	<i>Anchytarsus</i>				x						aguas corrientes
	Scirtidae (6)*	<i>Elodes</i>							x		x	Colectado en aguas semiestancadas
Diptera	Tipulidae (5)*		x	x								
					x							
	Tabanidae (4)	<i>Tabanus</i>										
	Stratiomyidae								x			
	Quironomidae		x	x			x		x			
	Culicidae (2)*	<i>Culex</i>							x			
	Ceratopogonidae 4*		x									
Otros Macroinvertebrados												
Hirudineo					x	x	x	x	x	x	aguas con alta contaminación orgánica presentes en aguas lentas y con vegetación	
Ostracodo							x	x		x		
acaros												
Oligochaeta (1)*									x		aguas con alta contaminación orgánica	
Gastropoda (Physidae, Lymneidae, Planorbidae) (3)*						x	x	x	x	x	aguas con alta contaminación orgánica	

¹ El puntaje asignado corresponde a la valoración de tolerancia a la contaminación dado por el Índice de Contaminación de Helawell.

² Señala la presencia de los grupo de macroinvertebrados en los sectores del Río Talnique y tributarios.