

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN – MANAGUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA ESPAÑA -UAB



MAESTRIA EN GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES

TESIS DE INVESTIGACION

Diagnóstico físico –químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan
y cuatro de sus principales tributarios desde noviembre 2002 hasta julio 2003

Autora: Lic. Sylvia Fuentes Huelvas

Tutor: Dr. August Bonmatí i Blasi
Profesor de la Universidad de Girona

Asesora: MSc. Katia Lily Montenegro Rayo

Managua, Febrero de 2005

Memoria de tesis presentada por Sylvia Fuentes Huelvas para optar al título de la *Maestría en Gestión del medio ambiente y recursos naturales* de la Universidad Autónoma de Barcelona y la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Autora:

Sylvia Fuentes Huelvas

Asesora:

Katia Lily Montenegro Rayo

Tutor:

August Bonmatí i Blasi

Managua, Febrero de 2005

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor a mi abuelita Mercedes Fuentes Hernández (q.e.p.d) que desde el cielo se encuentra siempre cuidando mis pasos y guiándome por el camino correcto.

A mis dos hijos Fernanda Guissella y Joseph Eduardo, los cuales me han comprendido por el tiempo que he estado alejado de ellos, al igual que a mi esposo Juan José Ramos Pavón por su confianza y apoyo.

A mi madre Juana de los Angeles Huelvas por haberme dado la vida para poder llegar hasta donde me lo proponga.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora MSc. Katia Lily Montenegro Rayo por el tiempo y la dedicación que me ha brindado para la elaboración de este trabajo.

A mi tutor Dr. August Bonmati i Blasi profesor de la Universidad de Girona por sus sugerencias, disposición y ayuda en la finalización de este estudio.

Al Director del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua MSc. Salvador Montenegro Guillén por brindarme el apoyo y la oportunidad de prepararme.

A los Cros. del Departamento de Hidroquímica del CIRA / UNAN por su colaboración en la realización de los análisis, especialmente a aquellos que anduvieron conmigo recolectando las muestras en esos lugares tan peligrosos y alejados del país.

A los Cros. de la sección de Bentos del Departamento de Hidrobiología del CIRA /UNAN por su ayuda en el conteo e identificación de los macroinvertebrados bentónicos y poder incluir la interpretación de esos resultados en este estudio.

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|------|
| I. | LISTA DE TABLAS | vii |
| II. | LISTA DE FIGURAS | viii |
| III. | LISTA DE ABREVIATURAS | ix |
| | RESUMEN | x |
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 | Antecedentes | 3 |
| 2. | OBJETIVOS | 6 |
| 2.1 | Objetivo General | 6 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 6 |
| 3. | MARCO TEORICO | 7 |
| 3.1 | Calidad del agua | 7 |
| 3.2 | Indicadores de Calidad | 7 |
| 3.3 | Índices de calidad de las aguas | 8 |
| 3.4 | Índice Canadiense de Calidad de Agua (CWQI) | 8 |
| 3.5 | Macroinvertebrados bentónicos | 12 |
| 3.5.1 | Riqueza de especies | 13 |
| 3.5.2 | Índice de similitud (s) y disimilitud entre dos muestras | 13 |
| 3.5.3 | Coeficiente de comunidad de Jaccard (CCJ) | 14 |
| 3.5.4 | Diversidad media (\bar{d}) y equidad (e) | 14 |
| 3.6 | Índice biótico de Hilsenhoff al nivel de familia (HFBI) | 15 |
| 4. | DISEÑO METODOLÓGICO | 17 |
| 4.1 | Tipo de investigación | 17 |
| 4.2 | Descripción del área de estudio | 17 |
| 4.3 | Clima de la cuenca del Río San Juan | 19 |
| 4.4 | Sitios y frecuencia de muestreos para las variables físico-químicas y los sustratos artificiales | 19 |
| 4.5 | Métodos de muestreo | 21 |
| 4.5.1 | Medición del Caudal | 21 |
| 4.5.2 | Variables físicas medidas in Situ | 22 |
| 4.5.3 | Toma de muestras y preservación | 22 |
| 4.5.4 | Muestreo y procesamiento de macroinvertebrados béntonicos | 23 |
| 4.5.5 | Métodos analíticos físico-químicos y biológicos utilizados | 25 |

| | |
|--|-----|
| 4.6 Tratamiento de los datos físico-químicos..... | 26 |
| 4.6.1 Clasificación hidroquímica..... | 26 |
| 4.6.2 Indicadores físico-químicos..... | 26 |
| 4.6.3 Estimación de la carga instantánea de nutrientes..... | 27 |
| 4.6.4 Cálculo del Índice de Calidad del agua (Canadian Water Quality Index, CWQI)..... | 27 |
| 4.7 Tratamiento de los datos de macroinvertebrados bénticos..... | 28 |
| 4.7.1 Cálculo del Índice de Similitud y Disimilitud..... | 28 |
| 4.7.2 Cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard (CCJ)..... | 29 |
| 4.7.3 Cálculo de la Diversidad media (\bar{d}) y equidad (e)..... | 29 |
| 4.7.4 Cálculo del Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de Familia (HFBI) | 30 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSION..... | 31 |
| 5.1 Clasificación hidroquímica..... | 31 |
| 5.2 Indicadores físico-químicos de calidad..... | 33 |
| 5.2.1 Turbidez y sólidos suspensos..... | 33 |
| 5.2.2 Temperatura y oxígeno disuelto..... | 35 |
| 5.2.3 Conductividad..... | 37 |
| 5.2.4 pH..... | 38 |
| 5.2.5 Alcalinidad..... | 39 |
| 5.2.6 Dureza..... | 40 |
| 5.2.7 Demanda química de oxígeno (DQO) y % de saturación de oxígeno disuelto (OD)..... | 41 |
| 5.2.8 Nutrientes..... | 43 |
| 5.3 Estimación de la carga instantánea de nutrientes..... | 44 |
| 5.4 Cálculo del Índice de Calidad del Agua CWQI..... | 46 |
| 5.5 Macro-invertebrados bentónicos..... | 48 |
| 5.6 Cálculo del Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de familias (HFBI) | 57 |
| 5.7 Comparación de la calidad del agua asignada por el índice CWQI y el índice HFBI..... | 59 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 62 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 64 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 65 |
| | |
| ANEXO 1 Tablas de resultados y cálculos de índices..... | 70 |
| ANEXO 2 Mapas de la Cuenca del Río San Juan..... | 128 |

I. LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Ríos tributarios del Río San Juan..... | 2 |
| Tabla 2 Valores para clasificar la calidad del agua utilizando el HFBI..... | 16 |
| Tabla 3 Frecuencia de los muestreos..... | 21 |
| Tabla 4 Métodos analíticos utilizados en el estudio..... | 25 |
| Tabla 5 Caudales medidos en los diferentes puntos de muestreo..... | 46 |
| Tabla 6 Clasificación de la calidad físico-química de las aguas del Río San Juan y sus principales tributarios para diversos usos según el CWQI.... | 47 |
| Tabla 7 Parámetros bióticos de importancia para evaluar la integridad biológica de las aguas del RSJ y sus principales tributarios usando a la comunidad de macroinvertebrados bénticos..... | 53 |
| Tabla 8 Densidades poblacionales del Grupo Chironomidae y el caudal en los sitios muestreados..... | 56 |
| Tabla 9 Clasificación de la calidad de las aguas del Río San Juan y sus Tributarios mediante la aplicación del índice biótico de familias de Hilsenhoff..... | 59 |
| Tabla 10 Comparación entre el Índice CWQI y el Índice Biótico HFBI..... | 60 |

II. LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 Sub cuencas del sector norte del Río San Juan..... | 18 |
| Figura 2 Localización de los puntos de muestreo..... | 20 |
| Figura 3 Método de medición de caudal modificado | 22 |
| Figura 4 Toma de muestras en el campo | 23 |
| Figura 5 Separación de muestras físico-químicas | 23 |
| Figura 6 Sustratos artificiales utilizados | 24 |
| Figura 7 Colocación de los sustratos artificiales..... | 24 |
| Figura 8 Diagrama de Piper para la época lluviosa..... | 32 |
| Figura 9 Diagrama de Piper para la época seca | 32 |
| Figura 10 Comportamiento de la turbidez en las dos épocas de muestreo..... | 34 |
| Figura 11 Variación de los sólidos suspensos en las dos épocas de muestreo.. | 34 |
| Figura 12 Distribución del oxígeno disuelto y comportamiento de la temperatura durante la época lluviosa..... | 35 |
| Figura 13 Variación del OD en función de la temperatura para la época seca.... | 36 |
| Figura 14 Variación de la conductividad durante el período del estudio..... | 37 |
| Figura 15 Variación del pH durante las dos épocas muestreadas..... | 38 |
| Figura 16 Variación de la alcalinidad durante las dos épocas de muestreo..... | 39 |
| Figura 17 Comportamiento de la dureza durante las dos épocas de estudio..... | 41 |
| Figura 18 Comportamiento de la DQO y el % de saturación de OD en las dos épocas muestreadas..... | 42 |
| Figura 19 Estimación de la carga de nutrientes para los tributarios del RSJ..... | 45 |
| Figura 20 Estimación de la carga de nutrientes en la Entrada y Salida del RSJ. | 45 |
| Figura 21 Distribución de las taxas predominantes en el sitio Entrada del RSJ.. | 49 |
| Figura 22 Distribución de las taxas predominantes en el Río Machado..... | 49 |
| Figura 23 Distribución de las taxas predominantes en el Río Melchora..... | 50 |
| Figura 24 Distribución de las taxas predominantes en el Río Boca de Sábalos.. | 51 |
| Figura 25 Distribución de las taxas predominantes en el Río Santa Cruz..... | 51 |
| Figura 26 Distribución de las taxas predominantes en el sitio Salida del RSJ.... | 52 |
| Figura 27 Uso actual de la tierra de la sub-cuenca del Río Sabalo..... | 130 |
| Figura 28 Uso actual de la tierra de la Sub-cuenca del Río Bartola y Sarnoso. | 131 |

III. LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| RSJ | Río San Juan |
| CWQI | Índice Canadiense de Calidad de agua |
| HFBI | Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de familias |
| MARENA | Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales |
| OEA | Organización de Estados Americanos |
| CRRH | Comité Regional de Recursos Hídricos de Centroamérica |
| CAPRE | Comité coordinador regional de instituciones de Agua Potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana |
| CCME | Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente |
| USEPA | Agencia de protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| CIRA | Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |

RESUMEN

Los recursos hídricos contenidos en la Cuenca del Río San Juan (RSJ) son los mayores del istmo centroamericano, de ahí se deriva la gran importancia socio-económica de este ecosistema para Nicaragua. Muchas son las actividades antropogénicas que deterioran la calidad de las aguas superficiales (e.g., agricultura, asentamientos humanos) generando polución orgánica e inorgánica.

El objetivo general de esta tesis es evaluar la calidad de las aguas de la cuenca del Río San Juan. Con este fin se realizaron cuatro jornadas de muestreo de parámetros físico-químicos y dos de macro-invertebrados bénticos en seis sitios de estudio. La calidad del ecosistema se evaluó mediante indicadores físico-químicos y biológicos y la aplicación de dos índices, el Índice Canadiense de Calidad de Agua (CWQI) y el Índice Biótico de Hilsenhoff (HFBI).

Los tributarios que más carga instantánea de nutrientes aportan al RSJ son los ríos Boca de Sábalo, Santa Cruz y Melchora, sin embargo la mayor carga puntual es la del sitio Salida del RSJ. Los sitios río Machado y Salida del RSJ presentan sensibilidades de alta a moderada a la acidificación. Las aguas del Río San Juan y sus tributarios son del carácter hidroquímico bicarbonatadas-cálcicas a excepción del sitio Salida del Río San Juan, que presenta el tipo sulfatada-cálcica probablemente debido a la gran influencia de las aguas provenientes de Costa Rica (i.e., río Sarapiquí).

Analizando 22 parámetros físico-químicos relevantes y comparándolos contra los criterios Canadienses de calidad de aguas, las aguas de los seis sitios bajo estudio se clasificaron como de mala calidad para todos los usos. Sin embargo, aplicando objetivos de calidad (criterios) más flexibles para el uso protección de la vida acuática, la calidad de éstas aguas mejora hasta en dos categorías (regular hasta mala).

El Índice Biótico de Hilsenhoff (HFBI) calculado a partir de las abundancias y valores de tolerancia de las familias de artrópodos que colonizaron los sustratos artificiales clasificó la calidad de las aguas del Río San Juan y sus tributarios en dos únicas categorías: moderada (muestreo I) y moderadamente mala (muestreo II), excepto al Río Machado. Algunas propiedades importantes de las comunidades de macro-invertebrados (diversidad, equidad, similitud) indican que los Ríos Melchora, Santa Cruz y Machado presentan similares comunidades en contraste con los sitios Entrada y especialmente con la Salida del Río San Juan.

Ambos índices de calidad concuerdan en asignar bajas categorías de calidad al ecosistema estudiado lo que muestra la gran necesidad de desarrollar planes de gestión y manejo de la cuenca del RSJ para evitar su progresivo deterioro.

1. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es uno de los países de América Central más beneficiado en cuanto a recursos hídricos se refiere, cuenta con uno de los lagos más grandes del continente y con numerosas cuencas hidrográficas que drenan hacia el Atlántico y el Pacífico, así como también numerosos acuíferos que cubren toda la región del Pacífico. Sin embargo, la distribución espacial y temporal de las lluvias, la distribución natural de sus vertientes y acuíferos y el paulatino deterioro de sus fuentes de agua generado por el desarrollo de los núcleos urbanos, la industria y la actividad agrícola, han significado una relativa reducción de sus disponibilidades de agua (MARENA 2000).

Las cuencas hidrográficas de la vertiente del Atlántico, cuentan con precipitaciones en la mayor parte de los meses del año, mientras que en la del Pacífico, las precipitaciones se concentran especialmente entre los meses de mayo y noviembre. La cuenca del Río San Juan constituye una unidad particular, ya que en la parte superior, la cuenca drena hacia el Lago de Managua, que prácticamente carece de salida y del cual solo muy pocas veces fluye hacia el Lago de Nicaragua (Cocibolca), y de éste último drena hacia el Atlántico a través del Río San Juan. (MARENA 2003)

En términos generales puede decirse que en el país únicamente se administran las fuentes de abastecimiento de agua a la población, dejando en segundo plano la gestión y protección de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Siendo esta una de las razones por las cuales se carece de información fiable y adecuada sobre la calidad y cantidad de estos recursos hídricos, por lo que es necesario desarrollar estudios de esta naturaleza (MARENA 2000).

Los recursos hídricos contenidos en la Cuenca del Río San Juan son los mayores del istmo centroamericano y asimismo constituyen un recurso forestal para cualquier estrategia de desarrollo sostenible que se pretenda realizar. Específicamente la cuenca del área nicaragüense, es una de las más atractivas del país, por su potencial turístico de alta jerarquía a lo largo del Corredor Turístico Managua-Lago de Nicaragua-San Juan del Norte (MARENA 2000).

El Río es una gran vía acuática alcanzando en algunos puntos hasta 300 m de ancho, bordeado de plantaciones boscosas pluviales, reservas naturales y una incomparable abundancia de flora y fauna.

Sobre el Río y sus tributarios se asienta una creciente población estimada en aproximadamente 125,000 habitantes con una densidad media de 45.1 hab km². Esta población usa las aguas del Río para pesca de autoconsumo, recreación, transporte y para realizar actividades económicas como la irrigación y ganadería.

El tramo superior del Río San Juan desde que nace hasta que llega a la desembocadura del río Boca de San Carlos es estrecho, profundo, sin islas y presenta algunos rápidos. Por el contrario, su tramo inferior es ancho, poco profundo y con varios islotes, configurando un delta próximo a su desembocadura. Los ríos tributarios de la margen izquierda del Río San Juan son de recorrido corto y descienden en suaves pendientes con elevaciones de 400 a 600 msnm y los tributarios de la margen derecha proceden del territorio de Costa Rica, algunos se originan en elevaciones del orden de los 3000 msnm y tienen áreas de drenaje más extensas. En la Tabla 1 se listan los principales tributarios del Río San Juan, indicando la longitud y el área de drenaje de cada uno de ellos.

Tabla 1 Ríos tributarios del Río San Juan

| Tributarios del río San Juan | Longitud (km) | Área de drenaje (km²) | Vertiente Nicaragüense | Vertiente Costarricense |
|-------------------------------------|----------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Melchora | 20 | 186 | X | |
| Palo de Arco | 20 | 100 | X | |
| Boca Negra | 10 | 140 | X | |
| Boca de Sábalo | 38 | 440 | X | |
| Santa Cruz | 35 | 354 | X | |
| Bartola | 15 | 163 | X | |
| Caño Machuca | 15 | - | X | |
| Caño Machado | 15 | 174 | X | |
| Caño San Francisco | 25 | - | X | |
| Chirripo | - | 1415 | | X |
| Sarapiquí | 85 | 2020 | | X |
| Cureña | - | 329 | | X |
| San Carlos | - | 3121 | | X |
| Pocosol y otros | - | 1721 | | X |
| Tortuguero, otros | - | 1321 | | X |

Muchas son las actividades que afectan la calidad del agua de los ríos entre ellas están la deforestación, la agricultura, la ganadería intensiva en los alrededores de la cuenca además de los asentamientos humanos ubicados a lo largo de los ríos, los cuales, en su mayoría, no disponen de sistema sanitarios de evacuación de aguas residuales. Debido a esto, es esencial identificar y cuantificar las condiciones de calidad del agua del Río San Juan y las emisiones de material alóctono (e.g., nutrientes) proveniente de fuentes puntuales y difusas hacia el ecosistema. El impacto de estas actividades antropogénicas puede ser efectivamente medido en los cuerpos de agua monitoreando los cambios en los parámetros físico-químicos, biológicos y microbiológicos.

1.1 Antecedentes

La cuenca del Río San Juan por contener la reserva de recursos hídricos más importantes del istmo centroamericano ha sido frecuentemente objeto de estudio. Sin embargo, estos estudios no siempre han sido lo suficientemente extensos y sistemáticos para reportar conclusiones generalizables del estado de salud de la cuenca.

Entre los estudios realizados por el CIRA / UNAN en algunos sitios a lo largo del Río San Juan (RSJ) y algunos tributarios se encuentra el realizado por IRENA dentro del Proyecto de SIA-PAZ realizado en Julio de 1992, en el cual se afirma que las variables analizadas en relación a la hidroquímica del Río, muestran valores relacionados con aguas de buena calidad con excepción de los valores de turbiedad, hierro total y Demanda Química de Oxígeno los que se encontraron en concentraciones elevadas (Lacayo *et al.*, 1992).

En el estudio realizado por Molina (1994), se concluyó que la hidroquímica de los ríos tributarios variaban de acuerdo a su ubicación, los de la parte alta (Ríos Melchora, Medio Queso y Sábalo), fueron del tipo HCO_3^- -Ca, los de la parte intermedia (Pocosol, San Carlos, Bartola) fueron del tipo HCO_3^- -Na y los de la parte baja (Sarapiquí y otros) presentaron el carácter hidroquímica SO_4^- -Ca .

En el estudio de Cruz *et al.* (1998), se determinó el índice de Calidad del Agua (ICA) en la desembocadura de los ríos Melchora, Sábalo, Santa Cruz, Machado y Delta del RSJ, obteniéndose una clasificación de mediana calidad

para el río Melchora y de buena calidad para los demás sitios. Este índice de Calidad fue diseñado por la Fundación Nacional de Sanidad USA (1970) y se basa en registrar el valor de cada uno de los parámetros involucrados y transferirlos a una curva de peso en el que se interpola con el valor verdadero para encontrar el valor numérico o valor de Q.

En el estudio de Diagnóstico de la Cuenca del Río San Juan y lineamientos del Plan de Acción se evaluó la calidad del agua del Río San Juan desde el punto de vista físico-químico con un solo muestreo efectuado en marzo de 1994 en diversos puntos a lo largo del Río San Juan. Debido a los pocos datos generados no fue posible obtener una interpretación real de lo que ocurre en ese cuerpo de agua. Sin embargo las zonas que fueron consideradas como áreas críticas de manejo en esa cuenca fueron: las sub-cuencas de los ríos Boca Negra, Sábalos, Santa Cruz y algunos sectores de la sub-cuenca de los ríos Melchora y Delta del Río San Juan (MARENA /OEA, 1997).

El CIRA/UNAN en mayo y junio de 1997 realizó un muestreo de macro-invertebrados bentónicos utilizando sustratos artificiales en tres tributarios del Río San Juan (ríos Melchora, Santa Cruz y Machado), en el que se reportó que la biodiversidad del bentos fue heterogénea tanto en composición de especies como en el número de especies presentes (García y Talavera, 1997). La riqueza de especies fue de 0 a 30 en los diferentes sitios muestreados.

Tal como se puede ver, los estudios realizados en la Cuenca del Río San Juan se han desarrollado mediante campañas de muestro puntuales o esporádicas (e.g., un muestreo al año) lo que no permite la formulación de conclusiones del verdadero estado de la calidad del agua del Río.

Esto muestra la necesidad de realizar estudios mediante campañas de muestreo más sistemáticas (e.g., época seca y época lluviosa) a lo largo de todo un año, para completar la información existente y llegar a conclusiones más consistente sobre la calidad de las aguas del Río San Juan y sus tributarios, y así poder tomar decisiones sobre su protección.

Así mismo, el estudio de la calidad de las aguas de la cuenca es de vital importancia ya que, tal como indican los estudios realizados por el Comité Regional de Recursos Hídricos de Centroamérica (CRRH), los recursos de

agua dulce que mantienen la Cuenca del Río San Juan, constituyen la única reserva que podría satisfacer en un futuro las demandas de desarrollo de la región semiárida del pacífico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de la cuenca del Río San Juan mediante el análisis de dos puntos del Río San Juan y en cuatro tributarios procedentes de la cuenca norte Nicaragüense (Melchora, Boca de Sábalo, Santa Cruz y Machado) desde el punto de vista físico –químico y biológico.

2.2 Objetivos Específicos

- 1.- Determinar la composición hidroquímica del Río San Juan y cuatro de sus principales tributarios.
- 2.- Analizar los indicadores físico-químicos que influyen en la calidad del agua del Río San Juan y sus principales tributarios.
- 3.- Estimar la carga instantánea de nutrientes (nitrógeno y fósforo) aportada por los principales tributarios al Río San Juan.
- 4.- Evaluar la calidad del agua del Río San Juan y sus tributarios desde el punto de vista físico-químico, aplicando el Índice Canadiense de Calidad de Agua (CWQI).
- 5.- Analizar algunas características de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el Río San Juan y sus principales tributarios.
- 6.- Evaluar la calidad del agua del Río San Juan y sus tributarios por medio del Índice Biótico a nivel de familias de Hilsenhoff (HFBI)

3. MARCO TEORICO

3.1 Calidad del agua

El agua pura no existe en la naturaleza, al ser el disolvente universal y más abundante, es capaz de incorporar gran cantidad de sustancias con las que entra en contacto. La calidad de un agua viene definida por su composición. El conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización. La calidad del agua natural depende de varios factores, fundamentalmente de la litología que atraviesa (superficial o subterránea), a los que hay que añadir sustancias de desecho procedentes de las distintas actividades humanas con las que se va contaminando (Madrid, 2005).

Para saber en qué condiciones se encuentra un río se analizan una serie de parámetros de tipo físico, químicos y biológicos y después de comparar estos datos con los objetivos de calidad aceptados internacionalmente nos indicarán la calidad de esa agua para los distintos usos: para consumo humano, irrigación, ganadería, protección de la vida acuática, actividades recreativas, etc

3.2 Indicadores de Calidad

A partir de las primeras aglomeraciones urbanas se empieza a constatar que el impacto provocado por las actividades humanas pueden llegar a ser lo suficientemente importante para afectar la calidad del medio receptor hasta el punto de no tener suficiente capacidad de recuperación y afecte sus futuros usos. Es en este momento que se hace necesario empezar a definir algunos elementos como indicadores, a partir de los cuales se puede determinar si el agua esta contaminada y si su uso puede verse limitado por problemas sanitarios (Poch, 1999).

El número de indicadores es tan amplio que tradicionalmente se han agrupado en función de algunas características. El criterio de clasificación puede variar, por ejemplo: en algunos casos se agrupan en función de si se hace referencia a aguas naturales o residuales, o si se están considerando los aspectos que intervienen en algunos de los procesos tecnológicos de tratamiento

(potabilización, depuración). En otros casos el criterio de clasificación está en función del análisis que se utiliza para su caracterización, o si los indicadores se encuentran en disolución o en forma particulada, etc (Poch, 1999).

3.3 Índices de calidad de las aguas

Los índices de calidad de las aguas son herramientas adecuadas para caracterizar la calidad de las aguas independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas dichas aguas. Estos índices se basan en la aplicación de las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas, de manera que, en función de dichas concentraciones, se llega a obtener un valor numérico que se traduce en un rango de calidades.

Existen dos tipos básicos de índices para la determinación de la calidad; los que miden parámetros concretos como sales, nitratos, determinados contaminantes, etc., que pueden considerarse en las tablas de calidades exigidas por la legislación vigente o los que a partir de fórmulas algebraicas que combinan variables físicas y/o químicas que, normalmente tienen un comportamiento físico-químico antagónico entre si (por ejemplo, la comparación que se puede efectuar del oxígeno frente a la DQO y temperatura). Estos índices caracterizan el estado de calidad global del agua y detectan la contaminación persistente, no obstante, no reflejan vertidos esporádicos o diluidos por las fluctuaciones de caudal.

3.4 Índice Canadiense de Calidad de Agua (CWQI)

Nicaragua solo cuenta con normas de calidad del agua para consumo humano establecido por el Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica Panamá y República Dominicana (CAPRE) y con normas para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias (Decreto 33-95), por lo que se ha recurrido a usar las Normas Canadienses para poder fijar valores de referencia (objetivos de calidad) para diferentes usos del agua y calcular el índice físico-químico de calidad de agua.

El CWQI expresa la amenaza potencial que presenta la calidad de los cuerpos de agua a varios usos, tales como hábitat para la vida acuática, agua de irrigación para la agricultura y ganadería, recreación y estética, y como fuente de agua potable (CCME, 2001)

El Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) ha desarrollado un programa que calcula este índice (CWQI 1.0) el cual permite a los usuarios introducir objetivos específicos (parámetros normados) por sitio o utilizar los valores guía establecidos por CCME para casi 40 parámetros.

Este programa se desarrolla bajo el ambiente de Excel usando Visual Basic for Applications. El programa lo que hace es comparar los valores de las variables bajo estudio con los objetivos de calidad de agua, su cálculo se basa en tres atributos de la calidad de agua que se relacionan con los objetivos de la calidad de agua:

- Alcance (F1): Cuántas veces?: este atributo calcula el número de variables de calidad de aguas que no cumplen con los objetivos (que fallan) en al menos un muestreo durante el período de tiempo bajo consideración, en comparación al número total de variables medidas.

$$F_1 = \left[\frac{\text{Número de variables que fallaron}}{\text{Número total de variables}} \right] * 100$$

- Frecuencia (F2): Cada cuánto?: este atributo calcula el número de mediciones individuales que no cumplen con los objetivos, en comparación al número total de mediciones hechas en todos los muestreos del período de tiempo de interés.

$$F_2 = \left[\frac{\text{Número de pruebas que fallaron}}{\text{Número total de pruebas}} \right] * 100$$

- Amplitud (F3): Cuánto?: este atributo calcula la magnitud en qué las mediciones que no cumplen con los objetivos se alejan de los valores guías.

Este valor de amplitud (F3) se calcula en tres pasos:

- i. El número de veces que una concentración individual es mayor (o menor, cuando el objetivo es un mínimo) que el objetivo se denomina “excursión” y se expresa de la siguiente manera:

Cuando el valor de prueba no debe exceder el objetivo:

$$Excursión_i = \left[\frac{\text{Valor de la pruebas que falló}_i}{\text{Objetivo}_j} \right] - 1$$

Cuando el valor de prueba no debe ser más bajo del objetivo:

$$Excursión_i = \left[\frac{\text{Objetivo}_i}{\text{Valor de la prueba que falló}_j} \right] - 1$$

- ii. Las cantidades colectivas por las cuales las pruebas individuales están fuera de seguridad es calculada por la sumatoria de las excursiones de las pruebas individuales de sus objetivos (sne) y dividida por el número total de pruebas (aquellas que reúnen los objetivos y aquellas que no reúnen los objetivos). Se calculan de la manera siguiente:

$$sne = \frac{\sum excursión_j}{\# \text{ de pruebas}}$$

- iii. F_3 es calculada por una función asintótica que escala las sumas normalizadas de las excursiones del objetivo (sne) para producir un rango entre 0 y 100.

$$F_3 = \left[\frac{\text{Suma normalizada de las excursiones (sne)}}{0.01 * sne + 0.01} \right]$$

Una vez que los tres factores han sido obtenidos el CWQI puede ser calculado sumándolos de la siguiente manera

$$CWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Determinado el CWQI, que es un número entre 1 y 100, éste es traducido a una categoría descriptiva. Las siguientes categorías se sugieren como un punto de partida, los rangos pueden ser modificados dependiendo de las variables y objetivos seleccionados que a su vez dependerán de los ecosistemas y variables que se quieran evaluar:

Excelente (CWQI 95-100): la calidad del agua está protegida con una ausencia virtual de amenazas o impactos; las condiciones están muy cerca de los niveles naturales o prístinos. Estos valores pueden ser obtenidos solamente si todas las mediciones cumplen con los objetivos todo el tiempo.

Buena: (CWQI 80-94): la calidad del agua está protegida con un menor grado de amenaza o impacto; las condiciones muy pocas veces se desvían de los niveles naturales o deseables.

Moderada (Regular) (CWQI 65-79): la calidad del agua es usualmente amenazada o impactada, las condiciones algunas veces se desvían de los niveles naturales o deseables.

Marginal (CWQI 45-64): la calidad del agua es frecuentemente amenazada o impactada; las condiciones a menudo se desvían de los niveles naturales o deseables.

Mala (CWQI 0-44): la calidad del agua es casi siempre amenazada o impactada; las condiciones usualmente se desvían de los niveles naturales o deseables.

El uso de CWQI presenta grandes ventajas, entre las cuales tenemos:

- Todas las variables usadas son tratadas con la misma importancia.
- Los valores que están por debajo del límite de detección de los métodos analíticos son tomados en cuenta, lo que posibilita el tratamiento estadístico de éstos resultados.

3.5 Macroinvertebrados bentónicos

El uso de macroinvertebrados para valorar y determinar la calidad del agua tiene cuando menos 100 años de antigüedad. Los insectos son probablemente

los más numerosos macroinvertebrados de ríos no contaminados y riachuelos. Ellos usualmente comprenden de 70 a 90% de la fauna de macroinvertebrados en corrientes y son de mucho interés para evaluar la calidad de las aguas superficiales (Cushing. Colbert E, David Allan.J. 2001)

Las especies de macroinvertebrados bénticos presentan diferentes susceptibilidades a muchos factores bióticos y abióticos en su medio ambiente. Por lo que, la estructura de sus comunidades ha sido comúnmente usada para evaluar la integridad biológica de los ecosistemas acuáticos, como puede ser el índice de calidad del hábitat (Clark *et al.*, 2002).

Se han desarrollado un gran número de métodos (desde cualitativos hasta cuantitativos) basados en las características de éstas comunidades para indicar la calidad del agua y el grado de degradación del hábitat (USEPA, 1990). Entre éstos métodos podríamos mencionar: la riqueza de especies, los índices de similitud y disimilitud, el coeficiente de comunidad de Jaccard, el índice de diversidad media, el índice equidad y el índice Biótico de Hilsenhoff, entre otros (USEPA, 1990).

Según (Hellowell, 1986) las características de los macroinvertebrados que hace que su estudio sea tan ampliamente aceptado son los siguientes:

- a) Se encuentran presentes en todos los ecosistemas acuáticos.
- b) Sedentarios
- c) Altamente sensibles a perturbaciones
- d) Presentan largos ciclos de vida
- e) Muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto
- f) Existe un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas
- g) Existen métodos de evaluación y conocimiento sobre la taxonomía para algunas regiones

Así por ejemplo, en ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de plecópteros, tricópteros y efemerópteros; pero también se espera encontrar en bajas proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos, y otros grupos menores (Roldán, 1999).

Por el contrario, en ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, quironómidos y ciertos moluscos; pero ocasionalmente, pueden presentarse algunos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias (Roldán, 1999).

3.5.1 Riqueza de especies

Refleja la salud de la comunidad a través de una medida de la variedad de taxas (número total de familias y/o especies) presentes. La riqueza incrementa generalmente con el incremento de la calidad del agua, diversidad de hábitat y/o el apropiado hábitat. Muestreos de hábitat altamente similares podrían reducir la variabilidad en este atributo métrico para factores tales como la velocidad de la corriente y tipo de sustrato. El agua de las cabeceras de los ríos pueden ser naturalmente improductivas, soportando solo un muy limitado número de taxas. En estas situaciones el enriquecimiento orgánico puede resultar en un incremento en el número de taxas (USEPA, 1990).

3.5.2 Índice de similitud (s) y disimilitud entre dos muestras

Este índice ha sido usado para determinar si cambios en las asociaciones de la comunidad ocurrieron a lo largo de gradientes de arroyo o arriba y abajo de una población impactada. El índice de similitud puede también ser usado como un instrumento para asegurar la calidad cuando se evalúan las variaciones en la comunidad entre dos sitios el de control y el de referencia. El inverso del índice de similitud es conocido como el índice de disimilitud (Odum, 1971) (USEPA, 1990)

3.5.3 Coeficiente de comunidad de Jaccard (CCJ)

Este coeficiente mide el grado de similitud en composición taxonómica entre dos estaciones, en términos de presencia o ausencia de taxas y discrimina entre colecciones altamente similares (USEPA 1990). El valor del coeficiente debe oscilar en el rango de 0 a 1, aumentando con el grado de similitud con la estación de referencia.

3.5.4 Diversidad media (\bar{d}) y equidad (e)

La composición de especies puede ser resumida y evaluada usando muchos métodos, tales como: tablas de % de composición de especies, o gráficos de

frecuencia de distribución, etc., lo que en general produce grupos de datos voluminosos y virtualmente imposibles de comparar y por ende de interpretar (USEPA, 1990). Muchos científicos entre ellos Margalef (1957), McIntosh (1967), y Cairns y Dickson (1971) han propuesto el uso de valores numéricos únicos que proporcionen una medida confiable de la composición de especies presentes en un ecosistema (i.e., Índices de diversidad). (USEPA 1990)

Uno de los índices de diversidad más comúnmente usados es el de diversidad media (d), que fue originalmente presentado por Lloyd, Zar y Karr (1968) y es en la actualidad mejor conocido como el índice de diversidad media de Shannon-Weaver (USEPA, 1990).

El índice de diversidad media de Shannon-Weaver (d) es afectado por dos componentes: la riqueza de especies y la distribución de los individuos entre dichas especies (composición de especies) y puede variar en un rango desde cero hasta $3.321928 \times \log N$ (N : número total de individuos) (USEPA, 1990). Debido a que el valor de d es el resultado de la interacción de éstos dos parámetros que pueden variar independientemente, este valor es a menudo insensible a cambios sutiles en la estructura de la comunidad (USEPA, 1990). Por lo que, en general, se debe comparar contra otro valor numérico que indique la distribución de los individuos entre las especies presentes (e.g., equidad).

La homogeneidad de especies en una muestra (e.g., bentos) es prácticamente inexistente en la naturaleza, por lo que, Lloyd y Ghelardi (1964) propusieron el cálculo de un término que se denominaría "equidad" y se obtiene al comparar el valor de diversidad media con un máximo hipotético basado en la distribución obtenida del modelo de MacArthur (USEPA, 1990). No se espera que todos los datos sigan la distribución del Modelo de MacArthur, pero en general, es el más usado debido a que ha sido el más desarrollado en cuanto al estudio de la distribución de las abundancias de especies.

La equidad (e) calculada puede estar en el rango de 0 a 1, excepto en situaciones inusuales donde la distribución en la muestra es más equitativa que la distribución resultante del modelo de MacArthur. Esto produciría valores de $e > 1$, y ocurre en muestras conteniendo unos pocos especímenes de muchas taxas (USEPA, 1990).

La equidad (e) es muy sensible a cambios sutiles en la estructura de la comunidad, ya que es una representación de la comunidad muestreada, por lo que es un índice muy útil para detectar diferencias entre muestras y entre estaciones de muestreo, lógicamente luego de hacer un diseño del muestreo y replicación apropiados (USEPA, 1990).

3.6 Índice biótico de Hilsenhoff al nivel de familia (HFBI)

William L. Hilsenhoff introdujo en 1987 el uso de un índice biótico usando a la fauna artrópoda para evaluar la integridad biológica de las aguas superficiales. Este índice es una medida de la polución debida a la materia orgánica y los nutrientes, que son factores que causan bajos niveles de oxígeno disuelto afectando la sobrevivencia de cada especie artrópoda y por ende la calidad del agua del ecosistema (Hilsenhoff, 1987)

Para calcular este índice se le asigna a cada familia un valor de tolerancia entre 0 y 10, asignándosele 0 a la más susceptible o la menos tolerante, en este caso podría ser la familia Ephemerellidae y 10 a la más tolerante o la menos susceptible, como puede ser la familia Coenagrionidae; y se asignan valores intermedios entre 0 y 10 a las familias con tolerancias intermedias a la polución como puede ser, entre muchas otras, la familia de los Isotomidae (Hilsenhoff, 1988a)

Una vez asignado el valor de tolerancia para cada familia se multiplica este valor por el número de individuos encontrados de esa familia. Se suma el producto y se divide por el número total de artrópodos en la muestra para obtener el valor del Índice Biótico de Hilsenhoff en cada sitio de muestreo.

Por ejemplo, un HFBI entre 0 y 3.75 indica agua de excelente calidad, mientras que un HFBI > 6.00 indica agua de mala calidad. Los resultados son comparables entre estaciones de muestreo si los hábitat fueron muestreados usando métodos similares (USEPA, 1990). En general el HFBI es uno de los índices más usados en monitoreos rápidos de la integridad biológica y calidad de agua de ríos (USEPA, 1990; Davis *et al.*, 2003).

En la Tabla 2 se plasman los rangos de valores numéricos del HFBI con su respectiva clasificación de la calidad del agua y el grado de probabilidad de polución orgánica que se debe esperar.

Tabla 2. Valores para clasificar la calidad del agua utilizando el HFBI

| Índice Biótico de Familia | Calidad del agua | Grado de Polución orgánica |
|----------------------------------|-------------------------|--|
| 0.00 – 3.75 | Excelente | Polución orgánica poco probable |
| 3.76 – 4.25 | Muy buena | Posible ligera polución orgánica |
| 4.26 – 5.00 | Buena | Polución orgánica probable |
| 5.01 – 5.75 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| 5.76 – 6.50 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| 6.15 – 7.25 | Mala | Polución muy sustancial |
| 7.26 – 10.00 | Muy mala | Polución orgánica severa |

Fuente : USEPA, 1990

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

Este estudio es de carácter descriptivo y parcialmente correlativo debido a que tiene como propósito obtener información sobre el estado actual de las características físico-químicas y biológicas de las aguas del Río San Juan y sus principales tributarios, para clasificar los posibles usos que puede tener este cuerpo de agua.

4.2 Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del Río San Juan, que tiene un área de drenaje de 10 937 Km², en la cual se encuentran los 2 485.72 Km² pertenecientes a las áreas de drenaje de las sub-cuenca del río Sábalos, y de la sub-cuenca del río Bartola y Sarnoso.

El Río San Juan es el drenaje natural del Lago Cocibolca, tiene un desarrollo Oeste – Este y una longitud aproximada de 205 Km hasta su desembocadura en el mar caribe junto al pueblo de San Juan del Norte. Su caudal medio se ha estimado en 1 308 m³ s⁻¹, a la altura de la desembocadura del río Sarapiquí, del cual el aporte del Lago de Nicaragua a la altura del nacimiento del Río San

Juan es de aproximadamente $475 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, incrementándose dicho caudal hasta la boca del río Sarapiquí en $833 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. De los cuales el 85% ($708 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) lo aportan las cuencas costarricenses y el 15% restante ($125 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) se genera en territorio nicaragüense (MARENA / OEA 1997) (Figura 1)

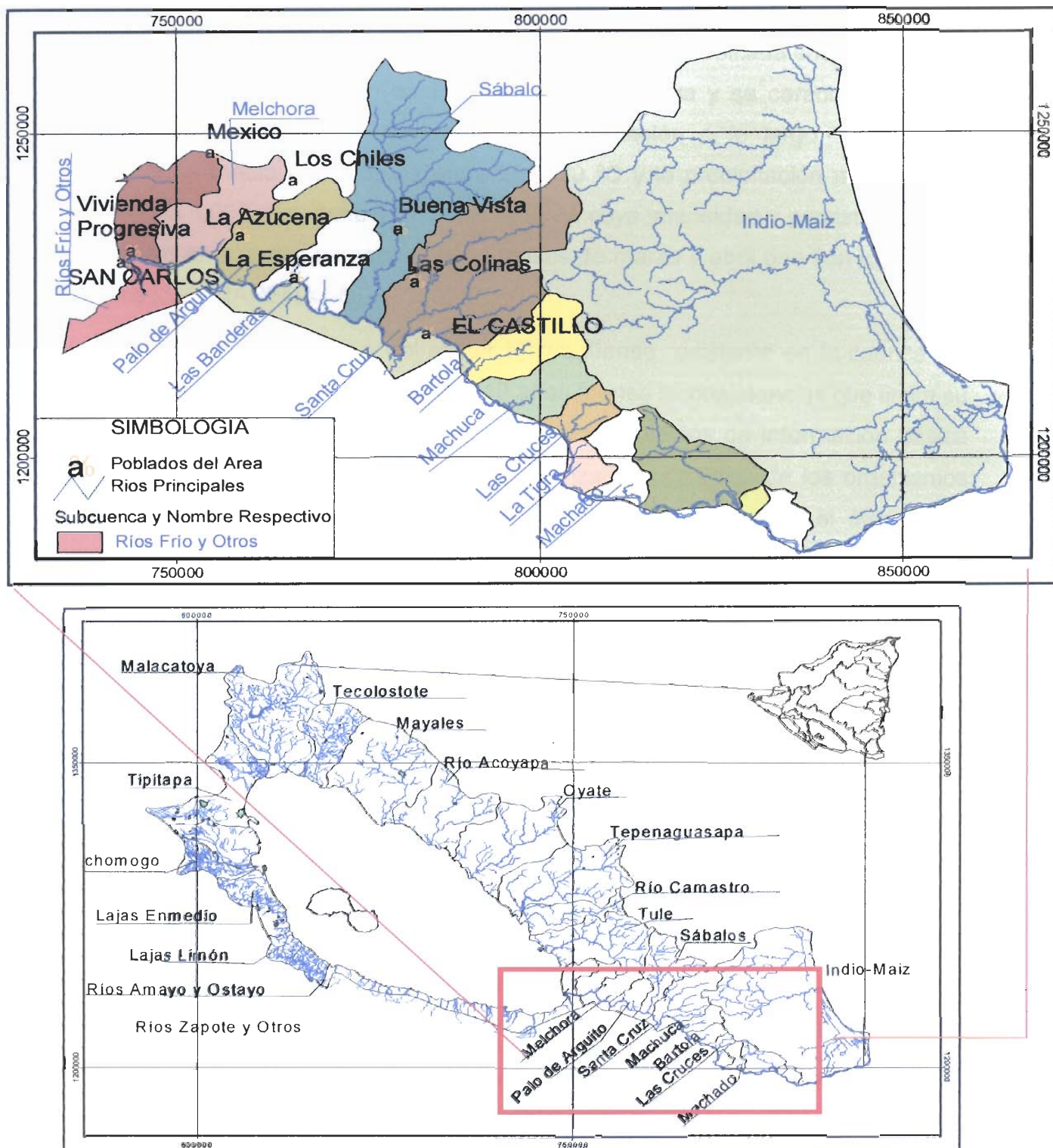


Figura 1. Sub-cuencas del sector norte del Río San Juan.
Fuente: Basado en la delimitación del INETER, modificado para el presente estudio. Flores, Y.

4.3 Clima de la cuenca del Río San Juan

De acuerdo a la clasificación de Koopen el clima del área ubicada sobre la margen izquierda del Río San Juan es Tropical de Pluvio-selva y se caracteriza por su uniformidad en cuanto a temperatura y precipitación a lo largo del año. La temperatura media anual oscila entre 25 y 29 °C y la precipitación media anual supera los 5,000 mm, tiene 11 meses de lluvia cuya intensidad y persistencia sólo disminuye en algunas semanas de los meses de marzo y abril que son los meses más cálidos (MARENA / OEA, 1997).

La información hidrométrica del sector Nicaragüense existente en la cuenca del Río San Juan presenta en los últimos 10 años fuertes inconsistencias que limita su uso generalizado. El sector costarricense presenta vacíos de información básica debido a que las llanuras no son áreas priorizadas por parte de los organismos interesados en la generación de hidroelectricidad. Sin embargo el área de la cuenca costarricense posee una mayor variedad de climas, influenciados por las masas de agua del lago de Nicaragua, la presencia del Mar Caribe y la variación altitudinal (MARENA /OEA 1997)

4.4 Sitios y frecuencia de muestreos para las variables físico-químicas y los sustratos artificiales

Para la realización de este estudio se seleccionaron un total de seis puntos de muestreo, dos puntos sobre el río San Juan: Entrada al RSJ y Salida del RSJ (Confluencia del Río Sarapiquí con el Río San Juan) y cuatro puntos en los principales tributarios de las subcuencas Nicaragüenses: Melchora, Boca de Sábalos, Santa Cruz y Machado debido a que estas sub-cuencas habían sido considerados como áreas críticas en el “Estudio de Diagnóstico de la Cuenca del Río San Juan y lineamientos del Plan de acción” (MARENA / OEA 1997).

Los sitios de muestreo para los tributarios fueron localizados a 1 o 2 km antes de la desembocadura al Río San Juan, el sitio de la Entrada del Río San Juan fue ubicado a 3 km después de la Entrada del Río San Juan y el punto denominado Salida del Río San Juan se localiza en la Confluencia del Río Sarapiquí con el Río San Juan (Figura 2)

Los sustratos artificiales para el estudio de macroinvertebrados fueron colocados en los mismos sitios donde se tomaron las muestras para la determinación de los parámetros físico-químicos.

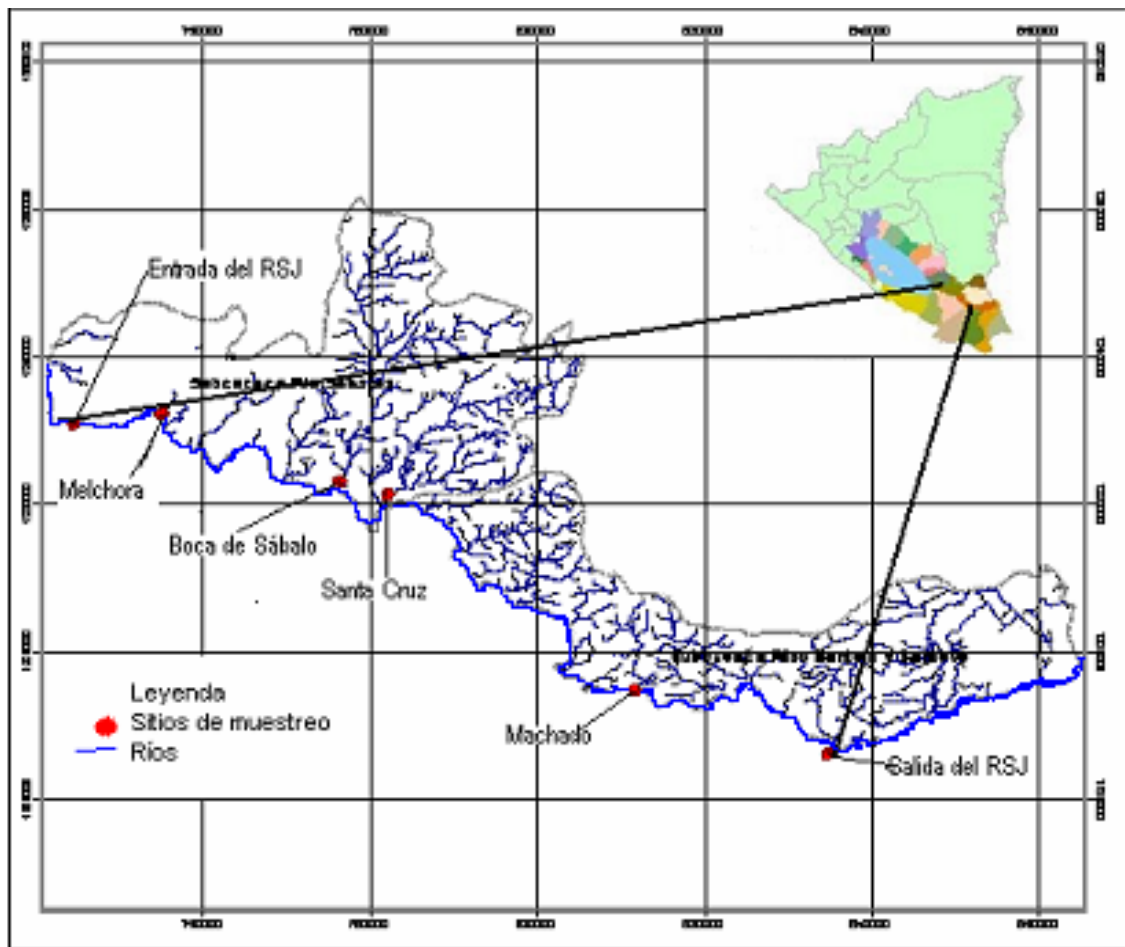


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo.

Fuente: Basado en la delimitación de INETER, modificado para el presente estudio con los datos obtenidos en el campo.

Se realizaron cinco jornadas de muestreo para la determinación de los parámetros Físico-Químicos y la colocación de los sustratos artificiales para el análisis de los macroinvertebrados bentónicos (Ver tabla 3)

Tabla 3 Frecuencia de los muestreos

| Sitios de Muestreos | Año 2002 | | Año 2003 | | |
|---------------------|-----------|-----------|----------|-------|-------|
| | Noviembre | Diciembre | Abril | Junio | Julio |
| Entrada del RSJ | X" | | X" | X | X |
| Río Melchora | X" | | X" | X | X |
| Río Boca de Sábalo | X" | | X" | X | X |
| Río Santa Cruz | X" | | X" | X | X |
| Río Machado | | X" | | X" | X |
| Salida del RSJ | | X" | X | X | X |

Notas: X Parámetros físico-químicos

X" Parámetros físico-químicos y sustratos artificiales

4.5 Métodos de muestreo

4.5.1 Medición del Caudal

En cada uno de los sitios seleccionados en el estudio se realizaron mediciones de caudal por personal especializado de INETER, utilizando el método de medición de velocidad en el centroide del flujo (Figura 3) el cual consistió en:

- Seleccionar una sección transversal de la corriente uniforme (un tramo recto, lecho sin rocas ni crecimiento acuático);
- Determinar el ancho de la corriente de orilla a orilla en ángulos rectos a la dirección de la corriente para espaciar las verticales
- Registrar la profundidad de cada vertical y medir la velocidad del agua con el molinete a dos niveles (0.8 y 0.2) de su profundidad, las que luego fueron promediadas.

Una vez que se determinó la velocidad, profundidad y distancia de las verticales en la sección transversal, se empleó el método de la sección media para determinar el caudal haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Q = \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right) \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) W_1 + \dots + \left(\frac{D_n + D_n}{2} \right) \left(\frac{V_n + V_n}{2} \right) W_n$$

Donde Q = caudal ($L \cdot s^{-1}$)
 D = profundidad (m)
 V = velocidad (m)
 W = ancho (m)

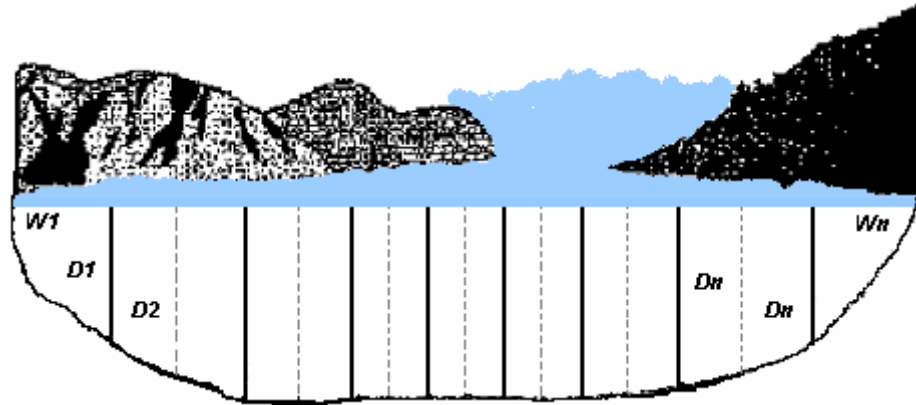


Figura 3. Método de medición de Caudal modificado (Rantz *et al*, 1982)

4.5.2 Variables físicas medidas in Situ

En cada sitio de muestreo se tomaron las mediciones in Situ de las variables de temperatura, pH y conductividad utilizando dos equipos de campo marca ORION, Modelos 210 y 105 respectivamente.

4.5.3 Toma de muestras y preservación

Las muestras de agua para la determinación de todos los parámetros analizados se tomaron inmediatamente después de realizar los aforos instantáneos con una botella muestreadora del tipo Van Dorn. Se tomaron muestras en 3 puntos ubicados a $1/3$ de la profundidad promedio a lo ancho de cada sitio de muestreo, mezclándose en un balde para obtener una sola muestra compuesta. Una vez mezclada, se procedió a dividir en dos galones para analizar los macro y micro nutrientes (calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, nitratos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitrito, flúor, sílice, hierro, fósforo total, fósforo disuelto y ortofosfato), así como todas las formas de sólidos (totales, disueltos y suspensos), manteniéndolas en un termo con hielo hasta su procesamiento en los laboratorios del CIRA / UNAN (Figura 4 y Figura 5).

En cada sitio de muestreo también se tomó otra alícuota de agua en un medio galón la cual se acidificó con 2 ml de ácido sulfúrico concentrado para realizar las determinaciones de nitrógeno total, amonio y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Las muestras fueron colocadas en un termo con hielo hasta analizarla en los laboratorios del CIRA / UNAN.

Para las determinaciones de los metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn), otra alícuota de agua fue tomada en una botella de litro plástica y preservada inmediatamente con 1 ml de ácido nítrico concentrado, colocándola en un termo con hielo.

Para el análisis de Oxígeno Disuelto las muestras fueron tomadas en el centro de cada sitio de muestreo utilizando botellas Winkler de vidrio de 300 ml de capacidad con tapón esmerilado y se preservaron con 1 ml de Sulfato de Manganeso ($MnSO_4$) y 1 ml de Azida de Sodio ($NaOH+NaI+NaN_3$).



Figura 4. Toma de muestras en el campo



Figura 5. Separación de muestras físico-químicas

4.5.4 Muestreo y procesamiento de macroinvertebrados béntonicos

La técnica utilizada para el muestreo de los macroinvertebrados béntonicos fue la de los substratos artificiales, la cual consistió en la colocación de un juego de 5

ladrillos de barro cocido con dimensiones de 25,4 x 12,7 x 7,6 cm, contenidos cada uno en una malla plástica suave (Figura 6 y Figura 7). Los sustratos fueron colocados en el lecho del río, atados unos a otros por medio de una cuerda no degradable y a una distancia aproximada de 5 metros entre sí. Esta cuerda se fijó a un lugar seguro para evitar que los sustratos no fueran arrastrados por la corriente.

Para asegurar la colonización y estabilización de las comunidades en los sustratos estos permanecieron dentro del agua por un período de 30 días para el primer muestreo y de 60 días para el segundo muestreo. Después de este tiempo, fueron retirados del lecho del río uno a uno colocándolos en un balde para limpiarlos con un cepillo de cerdas suaves. La muestra resultante se recogió y se lavó a través de un filtro de 200 µm de luz de malla.

Una vez obtenidas las muestras se lavaron y preservaron en frascos plásticos, con alcohol al 96%, se etiquetaron y se llevaron al laboratorio para ser analizadas. En el laboratorio los especímenes se extrajeron manualmente, contándolos e identificándolos haciendo uso de diversas claves utilizadas por Merrit, R.W.& K.W. Cummins (1978), Pennak, R.W (1978) y Roldan, P.G. (1988).



Figura 6. Sustratos artificiales utilizados



Figura 7 Colocación de los sustratos artificiales

4.5.5 Métodos analíticos físico-químicos y biológicos utilizados

La metodología utilizada para analizar cada uno de los parámetros se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4 Métodos analíticos utilizados en el estudio

| Parámetros | Métodos |
|------------------------|--|
| pH | ¹⁾ Potenciometrico |
| Conductividad | ¹⁾ Conductimetrico |
| Turbidez | ¹⁾ Nefelometrico |
| Color | ¹⁾ Comparación visual |
| Sólidos totales | ¹⁾ Gravimetrico a 103-105° C |
| Sólidos disueltos | ¹⁾ Gravimetrico a 180° C |
| Sólidos suspensos | ¹⁾ Diferencia de peso del papel filtro |
| Dureza total | ¹⁾ Titrimétrico con EDTA |
| Calcio | ¹⁾ Titrimetrico EDTA |
| Magnesio | ¹⁾ Por diferencia de la dureza y calcio |
| Sodio | ¹⁾ Absorción Atómica |
| Potasio | ¹⁾ Fotometría de llama |
| Cloruros | ¹⁾ Cromatografía iónica |
| Nitratos | ¹⁾ Cromatografía iónica |
| Sulfatos | ¹⁾ Cromatografía iónica |
| Carbonatos | ¹⁾ Titrimétrico con HCl 0.05 N |
| Bicarbonatos | ¹⁾ Titrimétrico con HCl 0.05 N |
| Alcalinidad total | ¹⁾ Titrimétrico con HCl 0.05 N |
| Nitritos | ¹⁾ Colorimétrico |
| Hierro total | ¹⁾ Colorimétrico |
| Sílice disuelta | ¹⁾ Colorimétrico |
| Oxígeno disuelto | ¹⁾ Modificación de la Azida de Sodio |
| DQO | ¹⁾ Reflujo cerrado con Dicromato |
| Amonio | ²⁾ Ácido Ascórbico |
| Nitrógeno total | ³⁾ Segunda Derivada espectrofotometrica |
| Metales pesados | ¹⁾ Absorción atómica |
| Sustratos artificiales | ^{4), 5), 6),} Clasificación Taxonómica según claves específicas |

- 1) American Public Health Association (APHA).1999 Standard Methods for the Examination for water and wastewater 20 th .Ed. Washington.
- 2) Rodier, J. (1981). Análisis de las Aguas Naturales, Residuales y Agua de Mar. España: Ediciones Omega.
- 3) Crumpton, W.G., T.M. Isenhardt & P.D. Mitchell. (1992). Nitrate an organic N analisis with second-derivate spectroscopy. Limnology & Oceanography 37:907-913.
- 4) Merritt, R.W.&K.W.Cummins 1978. An introduction to the Aquatic Insects of North Iowa.722 pág.
- 5) Pennak,R.W.1978. Fresh-Water invertebrates of the United States. 803 pág.
- 6) Roldan, P.G.1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. 216 pág.

4.6 Tratamiento de los datos físico-químicos

Los datos utilizados para obtener la clasificación hidroquímica, la interpretación de los Indicadores físico-químicos, y la aplicación del cálculo del Índice de calidad de agua CWQI no fueron sometidos a ningún tratamiento estadístico, debido a que solamente fueron efectuados cuatro muestreos, tres de los cuales se realizaron durante el período lluvioso y uno durante el período seco. Del total de variables analizadas 24 de ellas (incluyendo metales) fueron ingresadas al programa que calcula el CWQI 1.0 el cual utiliza el ambiente Excel usando Visual Basic for Applications.

4.6.1 Clasificación hidroquímica

Para clasificar el carácter químico de las aguas bajo estudio se utilizó el método de los iones dominantes en base a sus concentraciones en meq L⁻¹. Se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas; si ninguno supera el 50% se nombra los dos más abundantes (Custodio, 2001)

El anión y catión predominantes determinaron el carácter hidroquímico de las muestras (e.g., tipo bicarbonato cálcico). Cuando más de un anión o catión predominaron (i.e., contribuían en similares concentraciones), en general se aplicó la regla de que el carácter hidroquímico estaría definido con el nombre de los dos aniones anteponiendo el que tenía más concentración iónica y luego por el catión o cationes predominantes (e.g., tipo sulfato/cloruro-cálcico/sódico, o bicarbonato-cálcico/sódico).

4.6.2 Indicadores físico-químicos

Para interpretar los indicadores de calidad físico-químicos los resultados obtenidos fueron divididos en las dos épocas muestreadas. Para la estación lluviosa se tomaron los datos pertenecientes a los muestreos realizados en los meses de noviembre 2002, junio y julio del 2003 y para la época seca se tomaron los resultados obtenidos en el mes de abril con excepción del río Machado para el cual se tomaron los datos del mes de diciembre del 2002

debido a que no fue posible muestrear en el mes de abril por condiciones propias de la Cuenca (bajo caudal del río Machado).

4.6.3 Estimación de la carga instantánea de nutrientes

Para obtener los valores de las cargas instantáneas de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y del caudal másico, se aplicó el método directo de carga en ríos. Para realizar este cálculo se tomó una sola muestra compuesta de tres puntos del corte transversal y se obtuvo una concentración (C), suponiendo que la concentración de las sustancias de interés (nitrógeno y fósforo) era uniforme en toda la sección y se midió el caudal (Q) en el momento de obtener la concentración (C), entonces la carga Q_M se obtuvo utilizando la ecuación siguiente:

$$Q_M \text{ (mg} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} = Q \text{ (L} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} * C \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$$

4.6.4 Cálculo del Índice de Calidad del agua (Canadian Water Quality Index, CWQI)

El CWQI se calculó usando el programa CWQI 1.0 que se alimentó con una serie de datos que contenía un total de 24 variables y cuatro muestreos por cada sitio de estudio. Estas variables fueron comparadas contra los objetivos de calidad del agua de las normas Canadienses para todos los usos, protección de la vida acuática, irrigación y ganadería (Anexo 1, Tabla 3). Solamente se modificaron los objetivos de calidad del oxígeno disuelto, turbidez y sólidos suspensos.

En el caso del oxígeno este cambio tenía que hacerse debido a que las temperaturas imperantes en el área de estudio son superiores (~25°C) a las predominantes en Canadá (~10°C) lo que hace que sea bastante improbable en Nicaragua alcanzar los 9.5 mg.L⁻¹ propuestos en las normas canadienses.

En el caso de la turbidez y los sólidos suspensos, los objetivos propuestos fueron diferentes para cada sitio analizado debido a que el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente recomienda que éstos dependan de los valores históricos de estas dos variables en cada ecosistema a evaluar.

Aplicando el mismo programa CWQI 1.0, se introdujo un nuevo uso del agua para la protección de la vida acuática (CIRA/Hidroquímica) relajando algunos

de los objetivos de calidad, tomando como referencia los propuestos por la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA). Entre los objetivos de calidad modificados están el oxígeno disuelto, la turbidez , los sólidos suspensos y tres de los once metales pesados analizados como fueron el Aluminio (Al), Cromo (Cr) y Cobre (Cu).

4.7 Tratamiento de los datos de macroinvertebrados bénticos

Los valores medios de las densidades de macroinvertebrados recuperados de los cuatro o cinco sustratos artificiales posicionados en los seis sitios de muestreo fueron calculados a partir de los datos que pertenecieran al intervalo de confianza. El intervalo de confianza de la media de los datos fue calculado por medio del programa Excel (Microsoft®Excel 2000, Microsoft Corporation, Troy, NY) con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0.05$).

4.7.1 Cálculo del Índice de Similitud y Disimilitud

Para calcular el índice de similitud se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2C}{A + B} \times 100$$

Donde: A = Número de especies en la muestra uno

B = Número de especies en la muestra dos

C = Número de especies comunes para ambas muestras

El Índice de disimilitud fue calculado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de disimilitud} = (100 - S)$$

4.7.2 Cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard (CCJ)

Para calcular el coeficiente de comunidad de Jaccard se utilizó la siguiente fórmula:

$$CCJ = \frac{a}{a + b + c}$$

donde:

a = número de especies comunes en ambas muestras

b = número de especies presentes en la *muestra B* pero no en la A

c = número de especies presentes en la *muestra A* pero no en la B

muestra A = Estación de referencia

muestra B = Estación de comparación

4.7.3 Cálculo de la Diversidad media (\bar{d}) y equidad (e)

Para calcular la diversidad media se usó la siguiente fórmula (USEPA, 1990):

$$\bar{d} = \frac{C}{N} (N \log_{10} N - \sum n_i \log_{10} n_i)$$

donde: $C = 3.321928$

N = Número total de individuos en la muestra

n_i = Número de individuos de la especie i

y para calcular la equidad (e) se utilizó la formula siguiente (USEPA, 1990):

$$e = \frac{s'}{s}$$

Donde s = Número de taxas en la muestra

s' = Valor de d tabulado (Ver Anexo 1 tabla 6)

4.7.4 Cálculo del Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de Familia (HFBI)

Los valores numéricos de tolerancia utilizados en el cálculo del HFBI para cada familia encontrada en cada uno de los sitios de estudio fueron tomados a partir del Apéndice B de Hilsenhoff (1988a). Debido a que la familia Hidrobiosidae no tenía valor asignado, se asumió un valor de tolerancia de 3 a partir del valor de 7 reportado para el sistema *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) (Tercedor 1996).

El valor del HFBI se calculó haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$HFBI = \sum \left(\frac{n_i a_i}{N} \right)$$

Donde: n_i = número de individuos en la familia i

a_i = valor de tolerancia asignado a la familia i

N = número total de artrópodos en la muestra

5. RESULTADOS Y DISCUSION

En este apartado los resultados obtenidos son interpretados desde el punto de vista físico-químico y biológico. A partir de la caracterización físico-química se obtuvieron los tipos hidroquímicos de los sitios de estudio, se analizaron los diferentes indicadores de calidad, se estimaron las cargas instantáneas de nutrientes y se evaluó la calidad del agua por medio del cálculo del índice CWQI, lo que permitió conocer los posibles usos del agua. Con los resultados de los macroinvertebrados se calcularon diversas características de las comunidades como son la riqueza de especies, el índice de similitud y disimilitud, el coeficiente de comunidad de Jaccard, la diversidad media y equidad y el índice biótico de Hilsenhoff con el cual se determinó la calidad del agua en cada sitio estudiado.

5.1 Clasificación hidroquímica

Como se observa en las Figuras 8 y 9 del Diagrama de Piper para ambas épocas de muestreo el carácter hidroquímico para todos los sitios de muestreo que atraviesan el territorio Nicaragüense son del tipo bicarbonato-cálcico ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$), con una importante influencia de los cationes magnesio y sodio. La única excepción a lo anterior es el sitio Salida del Río San Juan, el cual es del tipo sulfato-cálcico o sulfato-magnésico ($\text{SO}_4 - \text{Ca} / \text{Mg}$) dependiendo de la época muestreada.

Los sitios muestreados en el lado Nicaragüense al tener aguas ricas en metales alcalino-térreos (i.e., Ca, Mg) y bicarbonatos están principalmente dominadas por la roca madre o basamento (i.e., vía meteorización) y se encuentran en cierto equilibrio con el tipo de material de sus cuencas de drenaje (i.e., vía erosión de los terrenos aledaños por efecto de escorrentía) (Wetzel 1981a)

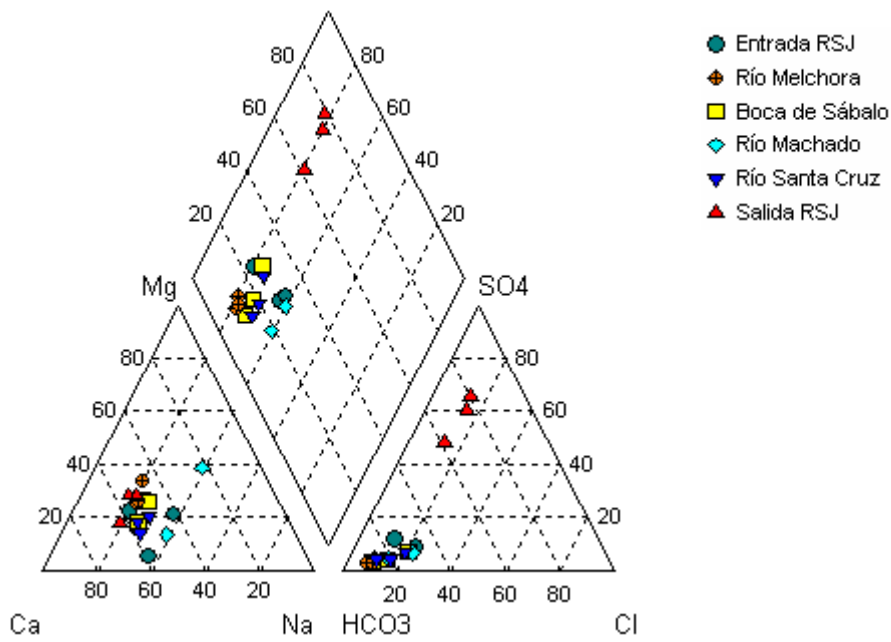


Figura 8 Diagrama de Piper para la época lluviosa

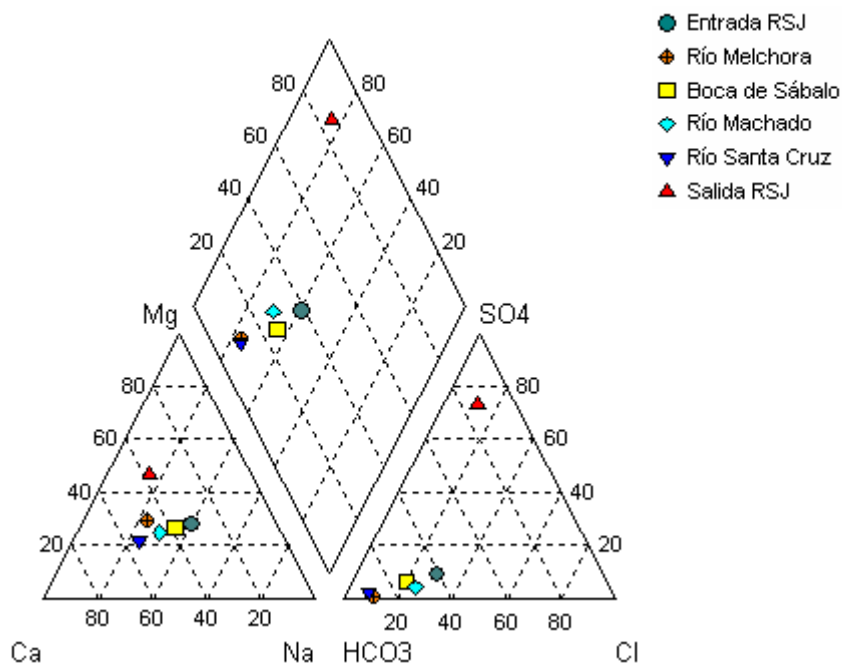


Figura 9 Diagrama de Piper para la época seca

El carácter hidroquímico encontrado en los diferentes sitios muestreados se puede atribuir a que la mayoría del territorio de este subsistema se encuentra ubicado en la provincia volcánica terciaria o provincia geológica central, que está cubierta en su sector Sur por depósitos volcánicos terciarios (tobas, basaltos, andesitas, e ignimbritas). (Luttenbarck, B. 1996). Además que en el curso medio del Río San Juan afloran rocas sedimentarias mesozoicas correspondientes a las formaciones Machuca y Brito compuestas por areniscas, lutitas, conglomerados y calizas (Luttenbarck, B. 1996).

El sitio ubicado en la Salida del Río San Juan (Confluencia del Río Sarapiquí con el Río San Juan) cambia el carácter hidroquímico debido probablemente a la influencia que tiene el agua del Río Sarapiquí el cual nace en las faldas del volcán Poás y Barba en Costa Rica (mapa geológico de Costa Rica), y recorre extensas áreas agrícolas en territorio costarricense antes de desembocar en el Río San Juan.

En el Anexo 1, Tabla 1 se presenta la composición iónica encontrada en cada uno de los sitios muestreados.

5.2 Indicadores físico-químicos de calidad

Para evaluar la calidad del agua del Río San Juan y sus tributarios desde el punto de vista físico-químico se analizaron los siguientes indicadores de calidad:

5.2.1 Turbidez y sólidos suspensos

Los valores más altos de turbidez y de sólidos suspensos fueron registrados en el río Santa Cruz durante la época lluviosa, mientras que durante la época seca se encontraron en la Salida del Río. Es probable que los procesos erosivos de la extensa área de drenaje de la sub-cuenca del río Santa Cruz de (354 Km²) favorecen el transporte de material coloidal como arcilla, fragmentos de rocas, etc., que contribuyen a aumentar la turbidez y la concentración de sólidos suspensos en el río.

Por el contrario el punto Salida del Río San Juan recibe el aporte del río Sarapiquí proveniente del territorio Costarricense, el cual tiene un caudal aproximado de 49 a 190 m³ s⁻¹ dependiendo de la época muestreada, aumentando el caudal del Río San Juan en este punto hasta 474.75 m³ s⁻¹

durante la época seca y hasta $1\ 105\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$ en la época lluviosa, lo cual contribuye al aumento de la turbidez y de los sólidos suspensos al Río San Juan (Figuras 10 y 11). Cuando el caudal descende o se hace más constante, la relación no es tan clara y pueden ser otros factores como la estacionalidad y la disponibilidad de material para transportar las que tengan mayor influencia.

Figura 10 Comportamiento de la turbidez en las dos épocas de

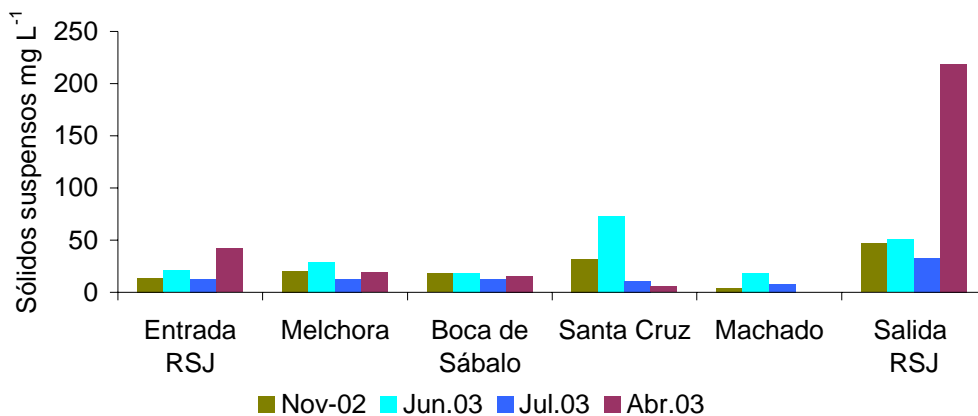
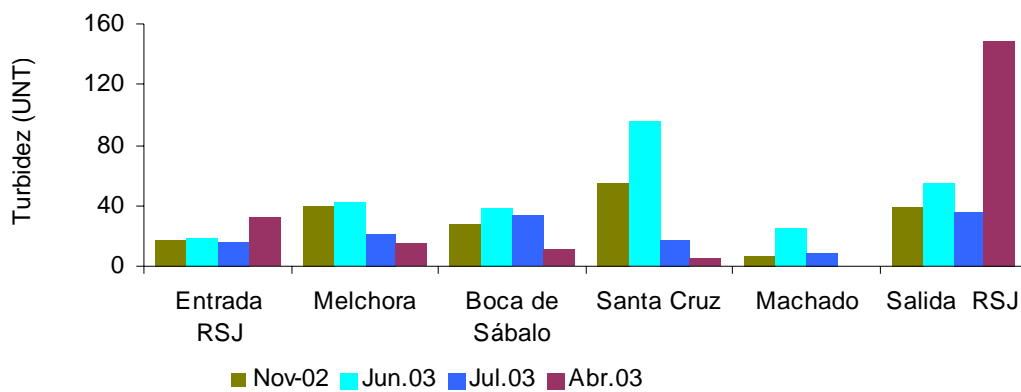


Figura 11 Variación de los sólidos suspensos en las dos épocas de muestreo

5.2.2 Temperatura y oxígeno disuelto

La temperatura es el factor abiótico más importante que afecta a la mayoría de los procesos biológicos que tienen lugar en un ecosistema como el fluvial (Poch 1999). Los valores encontrados en todos los puntos de muestreo durante la época lluviosa (noviembre, junio y julio) variaron entre 25 y 30°C.

Un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases presentes en el agua en especial el oxígeno (Figura 12) (Poch 1999). Durante la época lluviosa la mayor temperatura se registró en el mes de junio en la Entrada de Río San Juan, obteniéndose también una disminución drástica del contenido de oxígeno disuelto.

Durante la época lluviosa en todos los puntos de muestreo con excepción de la Entrada del Río durante los meses de junio y julio las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mayores a 5 mg.L⁻¹, la cual es la concentración mínima considerada para la manutención del equilibrio en los ecosistemas acuáticos (Donoso *et al.*, 2000).

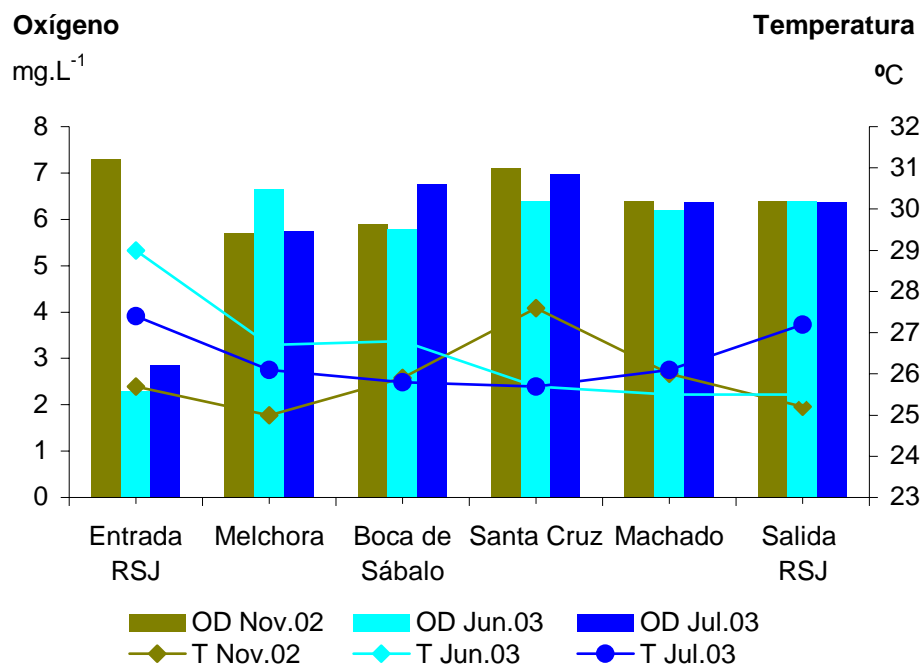


Figura 12 Distribución del Oxígeno Disuelto y comportamiento de la temperatura durante la época lluviosa

Durante la estación seca (abril) (Figura 13), se observa un aumento de la temperatura hasta 28 –30 °C en todos los puntos de muestreo con excepción de la Salida del Río donde se registró la menor temperatura y por lo tanto se encontró la mayor cantidad de oxígeno disuelto. Sin embargo, en todos los puntos de muestreo los valores de oxígeno disuelto fueron más bajos, en relación a la época lluviosa, debido probablemente al efecto del aumento de la temperatura. Es conocido que un aumento en la temperatura acelera la velocidad con la que tienen lugar las reacciones químicas y bioquímicas del ecosistema. En el caso de los gases el aumento de la temperatura del agua provoca dos efectos: por un lado habrá menos oxígeno disponible y por el otro, la velocidad con que es consumido será mas elevada (Poch 1999).

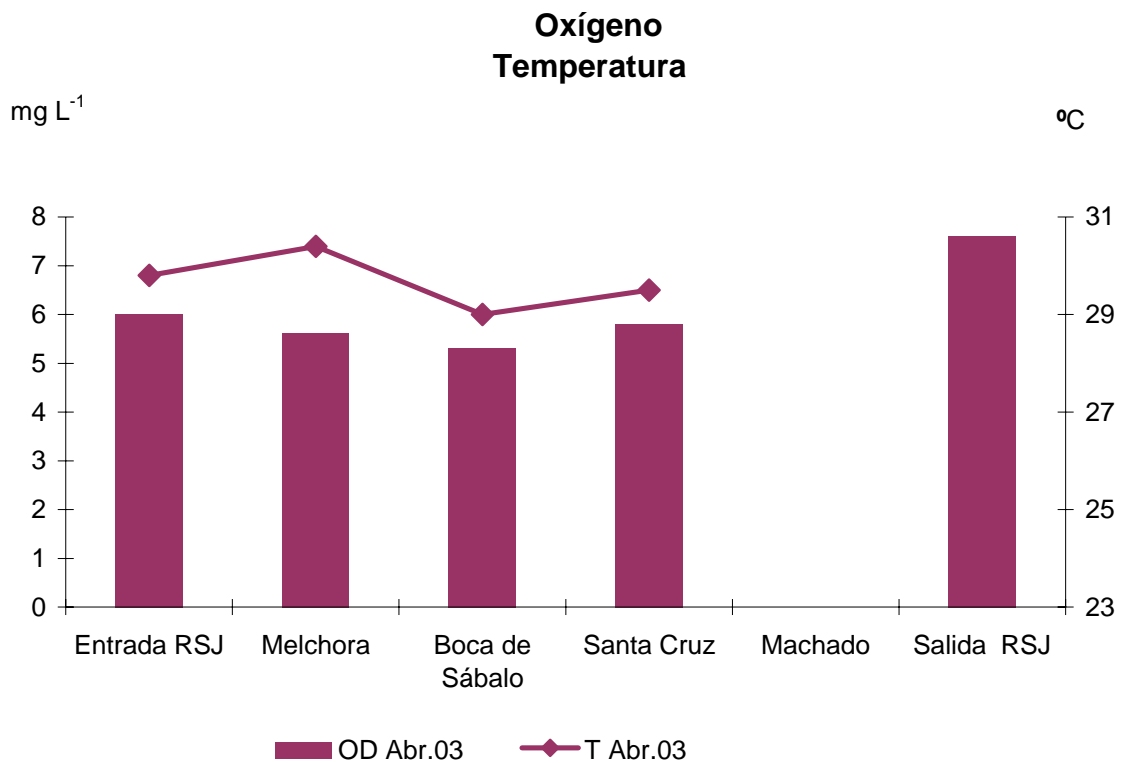


Figura 13 Variación del oxígeno disuelto en función de la temperatura para la época seca

5.2.3 Conductividad

Durante los meses de mayor caudal (noviembre y junio) los valores de conductividad registrados variaron entre 35 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en el Río Machado y 168 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en el río Melchora. En el período seco (abril) los valores extremos fueron encontrados en los ríos Santa Cruz con 179 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y en el río Melchora con 358 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Figura 14). Es evidente el gran aporte del río Melchora al contenido iónico del Río San Juan, aunque también es importante la contribución del río Boca de Sábalo. Las diferencias entre las épocas muestreadas se pueden explicar por el efecto de dilución que ejerce la lluvia al disminuir la concentración de las sales disueltas durante la época lluviosa. En cambio, una disminución del caudal o volumen de agua (época seca) conduce a un aumento en la conductividad al concentrarse las sales disueltas. Un buen ejemplo de este fenómeno es el río Melchora cuya conductividad prácticamente se duplicó en el mes de abril (168 hasta 358 $\mu\text{S cm}^{-1}$) debido a una disminución de caudal de 2.5 veces.

El río Machado reportó la conductividad más baja durante la época lluviosa, lo cual supone un bajo aporte de macro-constituyentes al Río San Juan, además de presentar el caudal más bajo de los tributarios (Junio).

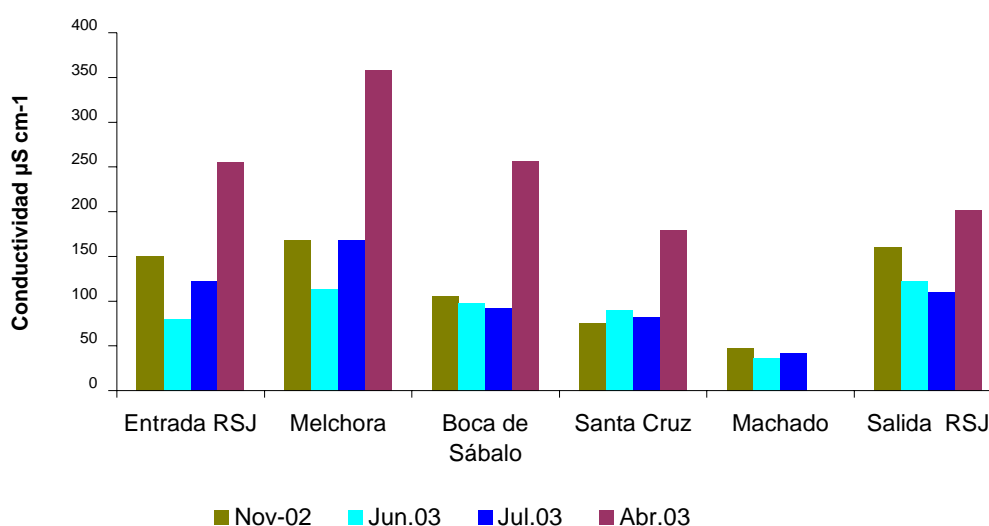


Figura 14 Variación de la conductividad durante el período del estudio

5.2.4 pH

El rango de pH para el desarrollo de todos los procesos biológicos se encuentra normalmente entre 6 y 8, por lo que se puede afirmar que la mayoría de los puntos muestreados durante la estación lluviosa estuvieron dentro de estos valores (Figura 15), a excepción de la Salida del Río San Juan en el mes de julio (5.7). Este bajo valor de pH se ve corroborado con un bajo valor de alcalinidad encontrada en este sitio (Figura 16).

Los mayores valores de pH en cada sitio muestreado fueron detectados en la época seca, presentándose el máximo en la entrada del Río San Juan (9.4) lo cual pudiera atribuirse a la influencia de las aguas residuales provenientes de la ciudad de San Carlos. El pH es modificado intensamente por diversas reacciones de origen biológico, entre ellas las más conspicuas son la fotosíntesis y los procesos bacterianos (Wetzel 1981a). Por ejemplo, los procesos de reducción disimilativa de sustancias inorgánicas (SO_4 , Fe, Mn) consumen iones H^+ produciendo un inherente aumento del pH (Wetzel, 1981a).

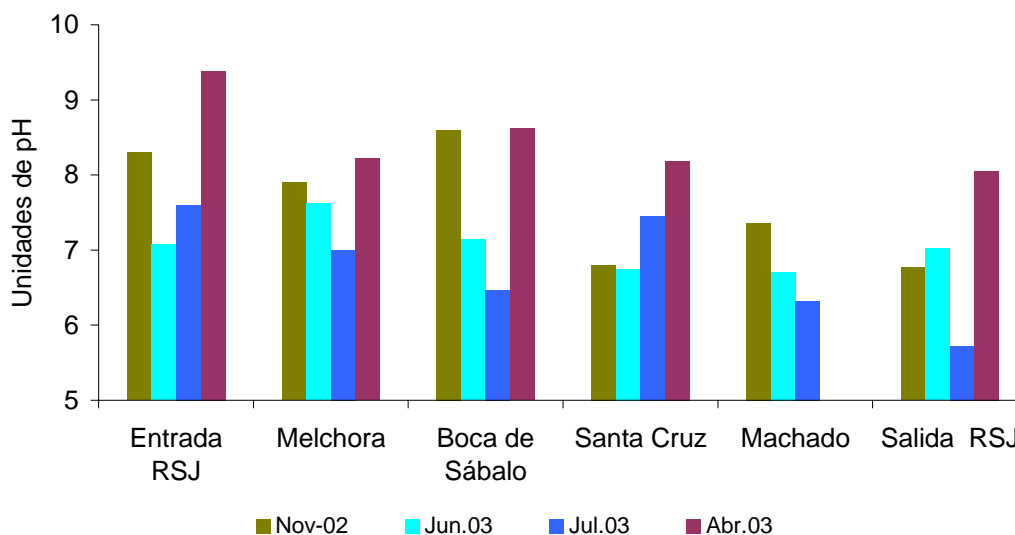


Figura 15 Variación del pH durante las dos épocas muestreadas

5.2.5 Alcalinidad

Las concentraciones de alcalinidad medidos en los sitios de estudio presentaron un rango de variación muy grande en ambas épocas de muestreo (Figura 16). Durante la época lluviosa (noviembre, junio, julio) las concentraciones encontradas fueron menores a las encontradas durante la época seca (abril) para todos los puntos de muestreo con excepción del sitio Salida del Río San Juan, lo cual puede relacionarse con la influencia acidificante del agua de lluvia (Baird 2001).

El valor más alto de alcalinidad para ambas épocas de muestreo se encontró en el río Melchora lo cual indica que dicho ecosistema presenta una alta capacidad de bufereo (capacidad tampón) que puede tener una importancia capital para el mantenimiento de la vida acuática (Wetzel, 1981a).

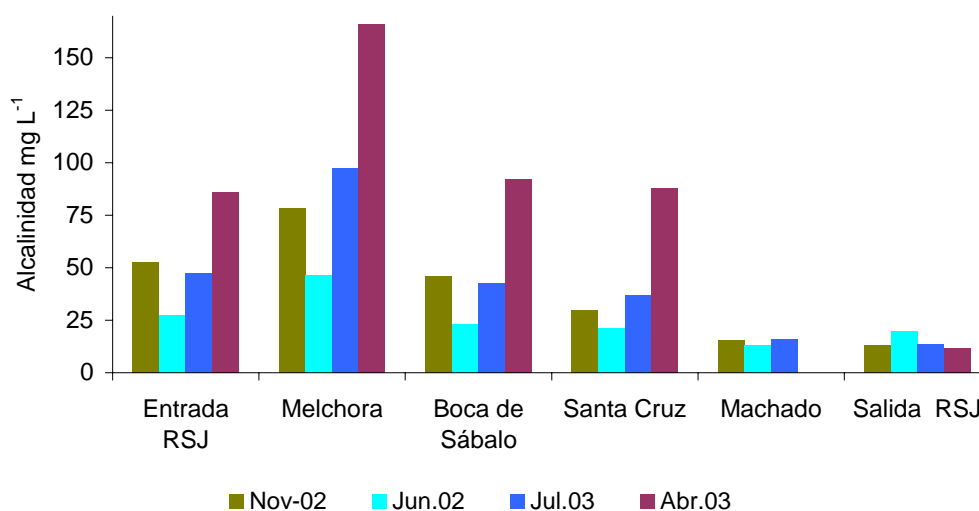


Figura 16 Variación de la alcalinidad durante las dos épocas de muestreo

Se observa una disminución importante de alcalinidad aguas abajo en los sitios río Machado y Salida del Río San Juan ($< 20 \text{ mg L}^{-1}$) durante todo el periodo de muestreo.

Estos dos sitios presentan de moderada a alta sensibilidad a la acidificación por contener valores de los indicadores de riesgos de acidificación, los cuales se encuentran dentro de los rangos críticos: 11-20 mg L⁻¹ de alcalinidad, 6.6 - 7 unidades de pH, y calcio de 0-4 mg L⁻¹ (solo el río Machado) (Erickson, 1987).

La Agencia de Protección Ambiental Norteamericana (USEPA) también ha calculado un valor guía para alcalinidad de ≥ 20 mg L⁻¹ basándose en criterios de concentración continua para aguas superficiales con uso recreacional y para la protección de la vida acuática (clase III, aguas dulces)

5.2.6 Dureza

La dureza de un agua está determinada por el contenido de sales de Ca²⁺ y Mg²⁺ combinados principalmente con HCO₃ y CO₃ (dureza temporal) y con SO₄²⁻, Cl⁻ y otros aniones de ácidos minerales (dureza permanente) (Poch 1999). Las concentraciones de dureza encontradas en la época lluviosa variaron de 9 (río Machado) hasta 69 mg L⁻¹ (río Melchora) y para la época seca (abril) desde 68 (río Santa Cruz) hasta 143 mg L⁻¹ (río Melchora) (Figura 17). El grado de dureza fue clasificada para la época lluviosa en todos los puntos de muestreo como blanda (0-60 mg L⁻¹) y para la época seca como medianamente dura (60-120 mg L⁻¹) con excepción del río Melchora para las dos épocas, el cual es clasificado como medianamente dura y como dura respectivamente (120-180 mg L⁻¹).

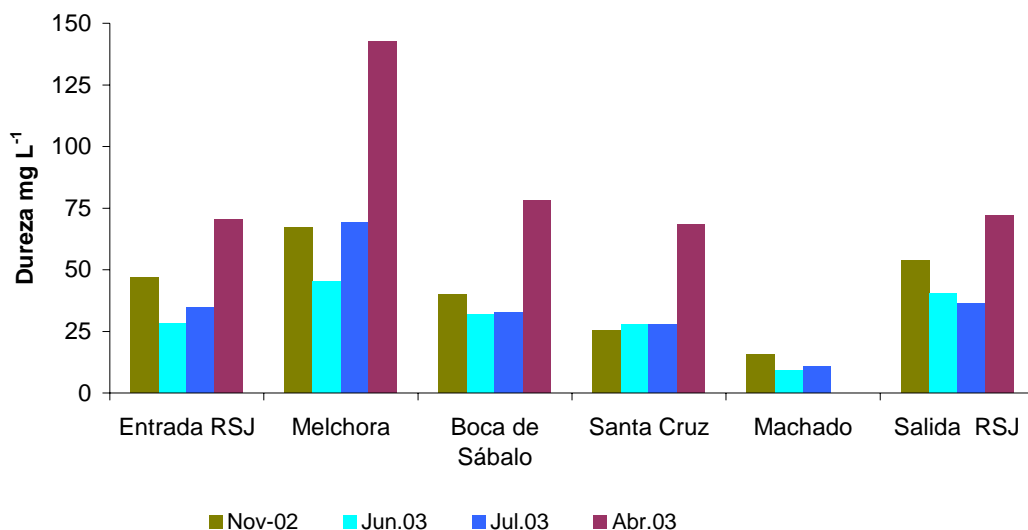


Figura 17 Comportamiento de la dureza durante las dos épocas de estudio

La denominación de aguas blandas es aplicada a las aguas que presentan bajas concentraciones de sales y normalmente proceden del drenaje de rocas ígneas de naturaleza ácida (Wetzel, 1981b). Las aguas duras contienen grandes concentraciones de metales alcalinotérreos derivados del drenaje de depósitos calcáreos (Wetzel, 1981b).

5.2.7 Demanda química de oxígeno (DQO) y % de saturación de oxígeno disuelto (OD)

Los valores de DQO y del % de saturación del OD no variaron grandemente en los sitios de estudio en los períodos muestreados, a excepción de la Entrada del Río (Figura 18) donde en el mes de Junio (época lluviosa) se encontró el mayor valor de DQO (120 mg L^{-1}) y el menor % de saturación de OD (30%). Esto indica la influencia negativa que tiene la lixiviación de los terrenos aledaños al ecosistema al arrastrar material alóctono que demanda oxígeno para degradarse, sub-saturando el OD.

Durante el mes de abril (época seca) el % de saturación del OD más bajo se encontró en el río Boca de Sábalos (69%) y la mayor DQO registrada en dicho sitio (32 mg L⁻¹) indicando actividades de degradación o de respiración. En cambio, el % de saturación de OD más alto se encontró en la Salida del Río (95%), probablemente debido a una mayor difusión (movimiento espontáneo) del O₂ del aire al agua, la cual se ve directamente impactada por procesos físicos como el mezclado y la acción de las olas producidos por la acción mecánica del viento y por el caudal de los ríos (Wetzel, 1981c).

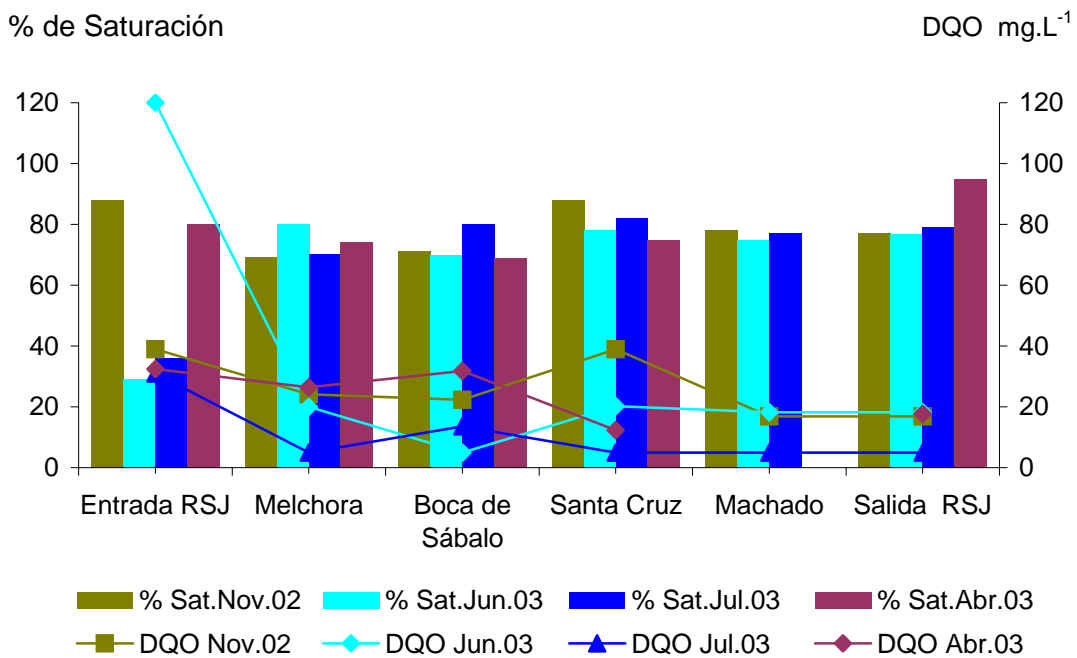


Figura 18 Comportamiento de la DQO y el % de Saturación de OD en las dos épocas

5.2.8 Nutrientes

Las concentraciones de macro-nutrientes (nitrógeno y fósforo) variaron grandemente durante las dos épocas muestreadas, reportándose las mayores en la época lluviosa. Por ejemplo, en la época lluviosa (noviembre, junio y julio), las mayores concentraciones de Nitrógeno total se encontraron en los sitios Boca de Sábalos, Santa Cruz y Salida del Río San Juan, oscilando desde $210 \mu\text{g L}^{-1}$ (río Santa Cruz, noviembre) hasta $3723 \mu\text{g L}^{-1}$ (río Boca de Sábalos, junio). En la época seca (abril) las mayores concentraciones fueron encontradas en los sitios Boca de Sábalo, Melchora y Entrada del Río San Juan oscilando desde $392 \mu\text{g L}^{-1}$ (río Melchora) hasta $450 \mu\text{g L}^{-1}$ (río Boca de Sábalo).

Estas grandes diferencias entre las dos épocas muestreadas pueden deberse al arrastre de nutrientes (fertilizantes nitrogenados) de las zonas agrícolas hacia los ríos durante la estación lluviosa o a una mayor desnitrificación (pérdidas de N debido a la reducción de aniones nitrogenados oxidados a gases nitrogenados como N_2 u óxido nítrico) durante la época seca debido a una mayor actividad bacteriana provocada por el aumento de la temperatura (Wetzel, 1981d).

Según el mapa del uso actual de la tierra 2001 (Anexo 2, Figura 27), los sitios ubicados en la sub-cuenca del río Sábalos presentan un uso del suelo con un 45% dedicado a actividades agrícolas, pastos y vegetación arbustiva. En cambio, para la sub-cuenca de los Río Bartola y Sarnoso (Anexo 2, Figura 28) donde se encuentra el río Machado, solamente el 10% del suelo se usa para estas actividades. El 90 % de bosque denso existente en esta zona amortigua el arrastre de nutrientes hacia el Río, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de N total encontrado en el río Machado durante la época lluviosa ($264 \mu\text{g L}^{-1}$).

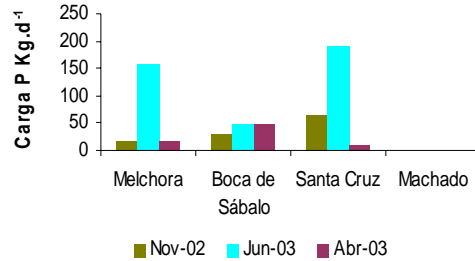
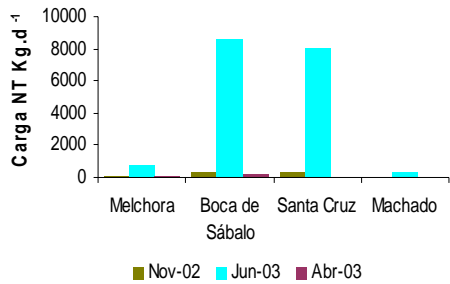
En cuanto al valor de fósforo encontramos las menores concentraciones durante la época lluviosa oscilando desde $11 \mu\text{g L}^{-1}$ (ERSJ, noviembre) hasta $155 \mu\text{g L}^{-1}$ (río Melchora, junio). En cambio en la época seca (abril) se encontraron las mayores concentraciones oscilando desde $128 \mu\text{g L}^{-1}$ (ERSJ) hasta $266 \mu\text{g L}^{-1}$ (Salida RSJ)

También fue notorio que en general el sitio Salida del Río San Juan presentó concentraciones más altas de fósforo total que el sitio Entrada del Río San Juan. En el caso del N-total las concentraciones en la Salida del Río fueron mayores o iguales a las de la Entrada del Río.

Las variaciones en la mayoría de los indicadores físico-químicos de calidad estudiados muestran que hay marcadas diferencias estacionales, probablemente influenciadas por los procesos de dilución (lluvias) y concentración (evaporación). Sin embargo, los indicadores DQO y oxígeno disuelto no mostraron grandes variaciones, a excepción del sitio Entrada del Río San Juan. En este sitio se encontró el valor más alto de pH (época seca), las menores concentraciones de oxígeno disuelto y las mayores concentraciones de DQO (época lluviosa) de todos los sitios estudiados. Esto puede evidenciar el impacto producido por el arrastre de material alóctono de los terrenos aledaños y de las descargas de aguas servidas de la ciudad de San Carlos al ecosistema. El sitio Salida del Río San Juan se distinguió por presentar el mayor caudal de los sitios estudiados (3–4 veces mayor a la Entrada), (Tabla 5) lo cual incidió directamente en sus altos contenidos de oxígeno disuelto, turbidez y sólidos suspensos. Esto denota la gran influencia que aporta el río Sarapiquí a este sitio. Los sitios río Machado y Salida del Río San Juan presentan alta sensibilidad a la acidificación.

5.3 Estimación de la carga instantánea de nutrientes

En base a los caudales instantáneos medidos en algunos de los sitios estudiados (Tabla 5) se calculó la carga instantánea de nutrientes en kg d^{-1} (Anexo 1, Tabla 2). Las mayores cargas instantáneas de nutrientes se calcularon en el mes de junio, siendo los tributarios Boca de Sábalos y Santa Cruz los que más nitrógeno aportaron (Figura 19 a), mientras los que más fósforo aportaron fueron el Santa Cruz y el Melchora (Figura 19 b). Los ríos Boca de Sábalos y Santa Cruz presentaron mayores caudales que los otros ríos (2–7 veces) lo que incidió directamente en su mayor aporte (Tabla 5). El río Boca de Sábalos, además, presenta una alta densidad poblacional y actividad agrícola en sus alrededores, lo que posiblemente incidió en su gran aporte de nutrientes.



a)

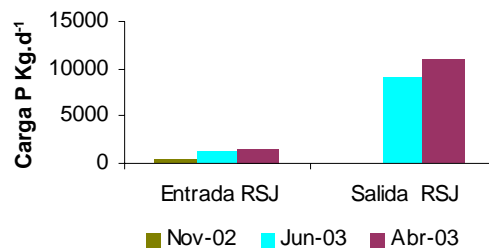
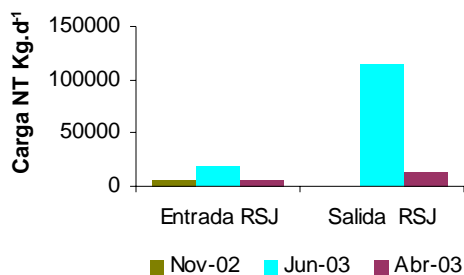
b)

Figura 19 Estimación de la carga de nutrientes para los tributarios del Río San Juan

a) Carga de nitrógeno total

b) Carga de fósforo total

En la Figuras 20 a) y b) se puede observar que las cargas instantáneas de nutrientes calculadas para el sitio Entrada del RSJ fueron mucho menores (3–7 veces) que las calculadas para el sitio Salida del RSJ. Esto se debió probablemente a la influencia del caudal (3–4 veces mayor) y de la concentración de los nutrientes (hasta 2 veces mayor) en el sitio salida del Río San Juan (Tabla 5). La mayor diferencia inter-sitio las presentó el fósforo, ya que fue 7 veces mayor en la Salida del RSJ en ambas estaciones muestreadas. El nitrógeno presentó la mayor diferencia (6 veces) en la estación lluviosa (junio) y la menor en la estación seca (3 veces).



a)

b)

Figura 20 Estimación de la carga de nutrientes para la Entrada y Salida del Río San Juan

a) Carga de nitrógeno total

b) Carga de fósforo total

Tabla 5 Caudales medidos en los diferentes puntos de muestreo (l.S⁻¹)

| Sitios de muestreo | Noviembre 2002 | Abril 2003 | Junio 2003 |
|-------------------------|----------------|------------|------------|
| Entrada al Río San Juan | 407 110 | 142 530 | 279 360 |
| Río Melchora | 5 280 | 2 007 | 11 730 |
| Río Boca de Sábalos | 16 570 | 14 650 | 26 940 |
| Río Santa Cruz | 16 570 | 5790 | 27 630 |
| Río Machado | NR | NR | 6 060 |
| Salida del Río San Juan | NR | 474 750 | 1 105 000 |

NR: No realizado

5.4 Cálculo del Índice de Calidad del Agua CWQI

En la Tabla 6 se encuentran los valores del CWQI que clasifican la calidad del agua para diversos usos (todos los usos, irrigación, ganadería y protección de la vida acuática). Como se puede observar el Río San Juan y sus tributarios son clasificados como aguas de mala calidad para todos los usos. El río Machado fue el que presentó la mejor calidad de agua para todos los usos (43), seguido por el río Melchora (39), por la Entrada del Río San Juan (38) y por el río Santa Cruz (36). Los sitios río Boca de Sábalos y Salida del Río San Juan fue donde se encontraron los valores de calidad más bajos (32 y 30 respectivamente) para todos los usos.

La calidad de las aguas mejoró al asignar el uso para irrigación ya que las clasificaciones estuvieron entre regular y marginal obteniéndose mayores valores (hasta 75), siendo esta vez los ríos Machado y Santa Cruz los de mejor calidad. Para este uso los sitios de menor calidad fueron el Sitio Salida del Río San Juan y el río Melchora.

La calidad del agua siguió mejorando cuando el uso fue cambiado para ganadería obteniéndose calidades de agua desde regular hasta buena.

Los ríos de mejor calidad fueron el río Machado (88), el río Melchora (81) y el río Santa Cruz (80). Por el contrario en los sitios Salida del Río San Juan, Entrada del Río San Juan y río Santa Cruz se determinó una agua de calidad regular.

Tabla 6 Clasificación de la calidad físico-química de las aguas del Río San Juan y sus principales tributarios para diversos usos según el CWQI

| Sitios de muestreo / Índices de Calidad | CWQI para todos los usos | CWQI para irrigación | CWQI para ganadería | CWQI para protección de la vida acuática | CWQI para protección de la vida acuática (CIRA / Hidroquímica) |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------|--|--|
| Entrada del RSJ | 38 | 60 | 75 | 32 | 56 |
| Río Melchora | 39 | 53 | 81 | 37 | 66 |
| Río Boca de Sábalo | 32 | 58 | 78 | 28 | 42 |
| Río Santa Cruz | 36 | 64 | 80 | 31 | 41 |
| Río Machado | 43 | 75 | 88 | 41 | 61 |
| Salida del RSJ | 30 | 52 | 68 | 20 | 33 |

Clasificación: Excelente (95-100), Buena (80-94), Regular (65-79), Marginal (45-64), Mala (0-44)

Sin embargo, cuando el uso asignado al agua fue protección de la vida acuática, el Índice CWQI reportó los valores más bajos de todos los usos asignados en todos los sitios muestreados, clasificándolos como de mala calidad. Los ríos Machado y Melchora fueron lo que presentaron las mejores calidades de agua (41 y 37 respectivamente), seguidos por el sitio Entrada del Río San Juan. Para este uso el sitio Salida del Río San Juan reportó el menor valor de calidad (20).

Finalmente, al asignar el uso del agua para protección de la vida acuática (CIRA / Hidroquímica) la calidad del agua mejoró hasta en dos categorías debido a que se utilizaron objetivos menos estrictos pudiendo clasificar el agua desde regular hasta marginal y mala. Para este uso también los ríos Melchora y Machado presentaron

los mayores valores de calidad (66 y 61 respectivamente). En cambio el sitio Salida del Río San Juan siguió presentando la más mala calidad de agua (33).

Analizando los valores de los tres atributos de la calidad de agua (alcance, frecuencia y amplitud) que se relacionan con los objetivos de calidad que usa el programa CWQI 1.0 para calcular el índice de calidad, se determinó que el factor que más influenció estos resultados fue la frecuencia (F_2) ya que en todos los casos fue la que reportó el valor más bajo (Anexo 1, Tabla 4). De esto podemos concluir que la baja calidad de agua calculada en los sitios de estudio se debió al número de mediciones individuales que no cumplieron con los objetivos, en comparación al número total de mediciones hechas en todos los muestreos del período de tiempo de interés. Los parámetros utilizados para obtener el índice de calidad de agua CWQI en cada uno de los sitios estudiados se encuentran en el Anexo 1, Tabla 12.

5.5 Macro-invertebrados bentónicos

Muchas propiedades de las comunidades de macro-invertebrados han sido usadas para evaluar la calidad de las aguas superficiales, especialmente la de los ríos (Ravera, 2001). Entre estas tenemos: su composición (abundancia relativa de algunos grupos) y muchos índices (cualitativos y cuantitativos) como la diversidad o el grado de similitud entre las comunidades que habitan los sitios de interés.

El listado de taxas de macro-invertebrados encontradas en los sitios de muestreo ubicados en el Río San Juan y sus principales tributarios durante los dos períodos muestreados, noviembre–diciembre 2002 y abril–Junio 2003, se presentan en el Anexo1 Tabla 7.

En los seis sitios de estudio se encontraron 77 taxas perteneciendo la mayoría a los Phylum Artrópoda, Anélida, Nematoda y Molusca. En general, la familia Chironomidae dominó la composición de las especies de macro-invertebrados bénticos, en todos los sitios de estudio se encuentra entre un 33% y un 99% de individuos pertenecientes a este grupo versus los individuos totales (ver Figuras 21 a 26)

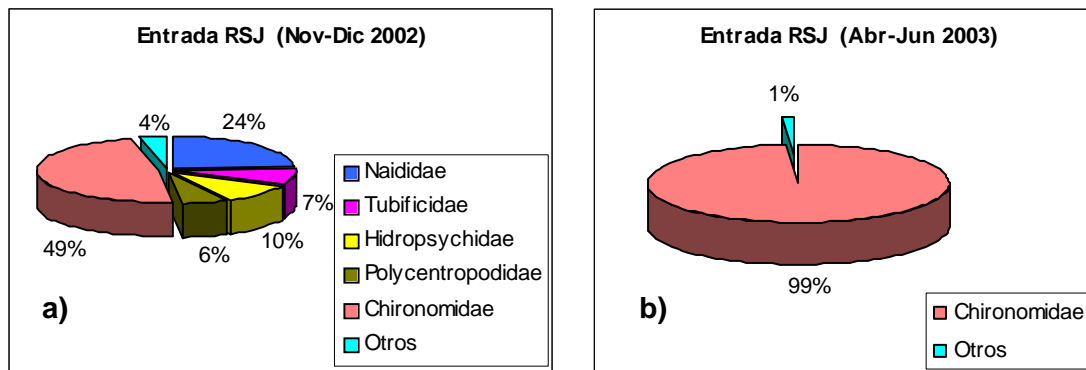


Figura 21. Distribución de las taxas predominantes en el sitio Entrada RSJ
 a) muestreo en época seca b) muestreo en época lluviosa

Los sitios con dominancia casi absoluta de la Familia Chironomidae (99 y 92% respectivamente) fueron la Entrada del Río San Juan (abril–junio 2003) y el río Machado (diciembre 2002–enero 2003) (Figuras 21 y 22).

La alta densidad poblacional de Chironomidae en la Entrada del Río San Juan para el segundo muestreo indica una alta disponibilidad de materia orgánica, evidenciada en una DQO bastante alta (120 mg L^{-1}) y un bajo contenido de Oxígeno Disuelto (2 mg L^{-1}) (mes de junio). Otro factor que explicaría el aumento de la densidad poblacional en este sitio con respecto al primer muestreo es el mayor tiempo de exposición que tuvieron los sustratos artificiales en el agua (~9 semanas), con respecto al primero que fue de 4 semanas.

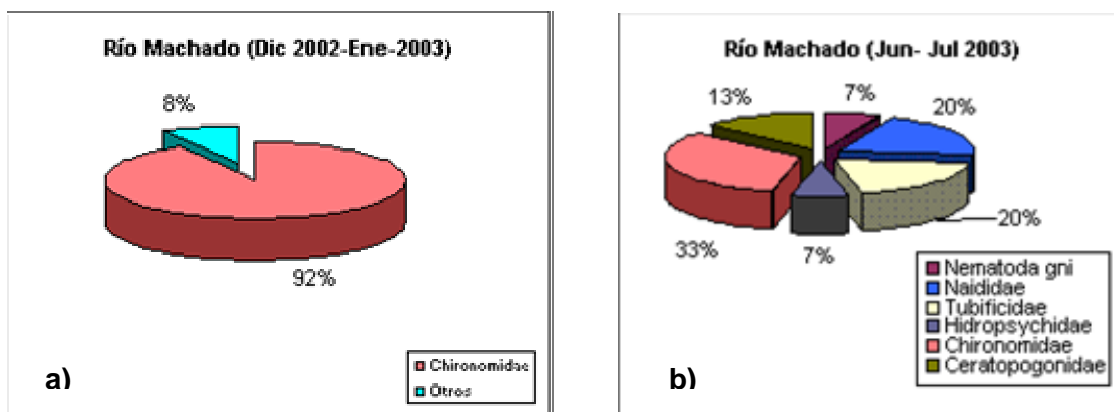


Figura 22. Distribución de las taxas predominantes en el río Machado
 a) muestreo en época seca b) muestreo en época lluviosa

El río Machado y el sitio Entrada del Río San Juan presentaron las mayores densidades en sus primeros muestreos con respecto a los segundos (21 y 1.5 veces respectivamente). Probablemente el caso del río Machado pueda explicarse porque este sitio fue muestreado un mes más tarde que los otros tributarios, lo que indica la alta variabilidad en tiempo en las densidades de macro-invertebrados

Una característica que pudo haber favorecido la omnipresencia de Chironomidae en los sitios de estudio es su gran intensidad migratoria, lo que lo hace un excelente colonizador a la deriva al dejarse llevar por las corrientes de agua y luego adherirse a sustratos adecuados (Dumnicka, 1996; Mihaljevic *et al.*, 1998). Sin embargo, para el río Machado y para los otros sitios de estudio consideramos que la dominancia de Chironomidae podría explicarse por los hallazgos de otros estudios (Barton y Metcalfe, 1992; Mihaljevic *et al.*, 1998) donde Chironomidae se ha distinguido por ser un excelente colonizador de sustratos artificiales ya que lo hace por desplazamiento o tendencia.

Tres de los tributarios estudiados (ríos Melchora, Boca de Sábalos y Santa Cruz) presentaron grandes diferencias en sus densidades poblacionales dependiendo de la fecha de muestreo, en general hubo un aumento bastante considerable (17–36 veces) en la época de abril a junio, probablemente debido a que durante esos meses era etapa productiva (Figuras 23, 24 y 25).

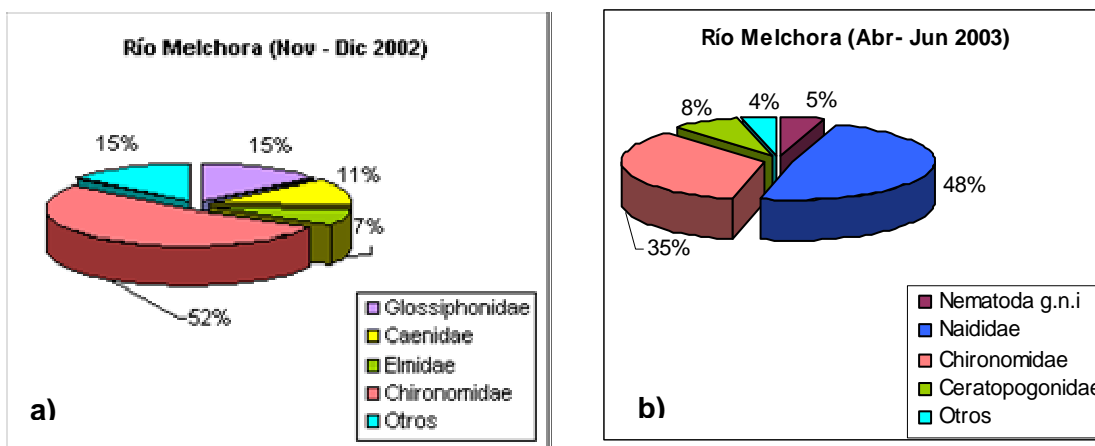


Figura 23. Distribución de las taxas predominantes en el Río Melchora
a) muestreo en época seca b) muestreo en época lluviosa

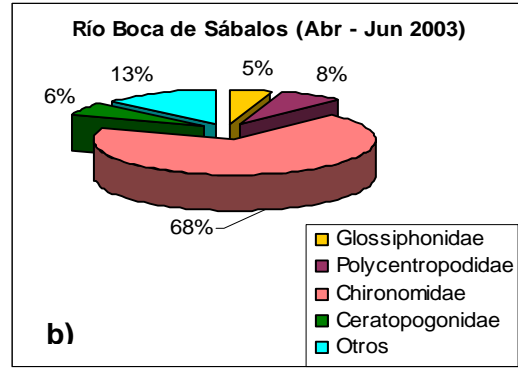
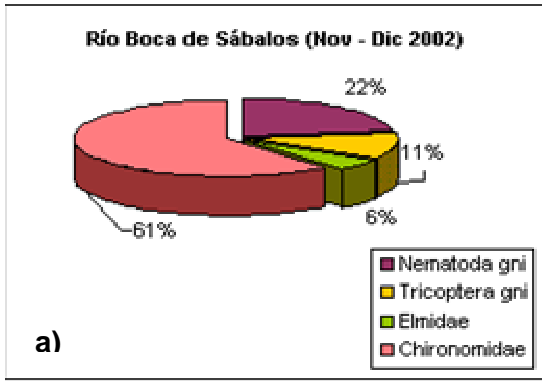


Figura 24. Distribución de las taxas predominantes en el Río Boca de Sábalos
 a) muestreo en época seca
 b) muestreo en época lluviosa

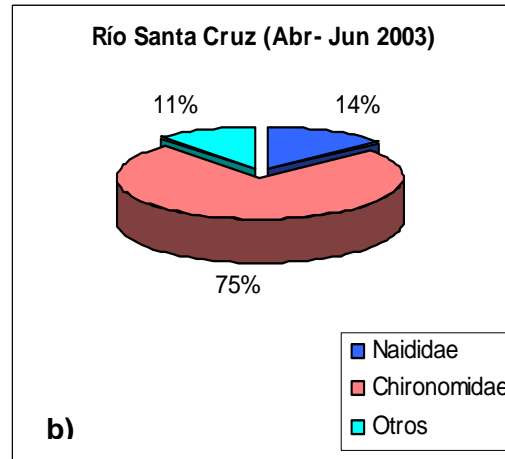
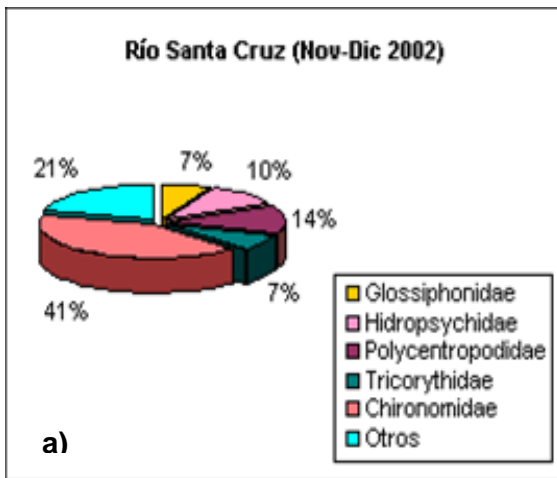


Figura 25. Distribución de las taxas predominantes en el Río Santa Cruz
 a) muestreo en época seca
 b) muestreo en época lluviosa

Otro grupo colonizador por desplazamiento o tendencia que se encontró en gran abundancia fue Oligochaeta representado por Naididae (Entrada RSJ, ríos Santa Cruz, Melchora y Machado) y Tubificidae (río Machado). También se encontraron aunque en menor porcentaje otros grupos como fueron Polycentropodidae (ríos Boca de Sábalos y Santa Cruz), Isotomidae (Salida RSJ), Glossiphonidae (río Melchora), y Nematoda (río Boca de Sábalos).

En la Salida del RSJ solamente se reportan datos de un muestreo (época seca) en el cual se encontraron muy pocas taxas y de igual manera el 44% de organismos pertenece a la Familia Chironomidae (Figura 26).

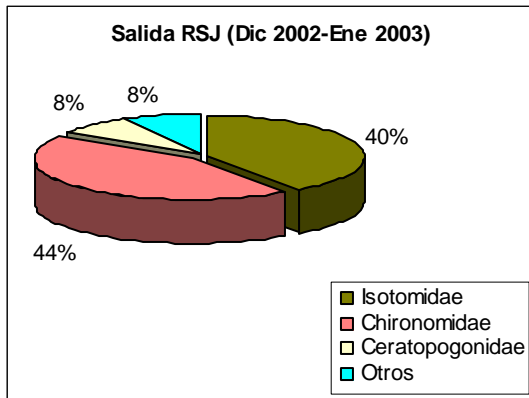


Figura 26 Distribución de las taxas predominantes en el sitio Salida del Río San Juan durante la época seca

La Tabla 7 recoge un grupo de parámetros bióticos de importancia de las comunidades de macro-invertebrados que colonizaron los sustratos artificiales colocados en los sitios de muestreo ubicados en el Río San Juan y sus principales tributarios durante los dos períodos muestreados.

Como se puede observar los ríos Boca de Sábalos, Melchora y Santa Cruz presentaron un mayor número de especies (20, 18 y 17 respectivamente) en el segundo muestreo probablemente debido a que los sustratos estuvieron expuestos por mayor tiempo en el agua (~9 semanas). En cambio los sitios Entrada al Río San Juan y río Machado presentaron sus mayores riquezas en el primer muestreo (16 y 15 respectivamente). Los sitios Entrada y Salida de Río San Juan fueron los que presentaron la menor riqueza de especies (3 y 8) para el segundo y primer muestreo respectivamente. La riqueza de especies generalmente aumenta al aumentar la calidad del agua y la idoneidad del hábitat (USEPA, 1987). Por lo que, se deduce que los tributarios del Río San Juan presentan mejor calidad al presentar mayor riqueza de especies que los dos sitios muestreados dentro del RSJ.

Tabla 7. Parámetros bióticos de importancia para evaluar la integridad biológica de las aguas del Río San Juan y sus principales tributarios usando a la comunidad de macro-invertebrados bénticos

| Sitio de muestreo | Muestreo No. | Riqueza de especies (No. de especies) | Número total de individuos | Diversidad media (Índice de Shannon-Weaver) | Equidad (según Lloyd y Ghelardi) (e) | Índice de Jaccard (usando como referencia al Río Melchora) (J) | Índice de Disimilitud (según Odum, usando como referencia al Río Melchora) |
|---------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------------|--|--|
| Entrada del RSJ | 1 | 16 | 2485 | 5.82 | 5.25 | 0.32 | 0.52 |
| | 2 | 3 | 1637 | 0.13 | 0.33 | 0.17 | 0.71 |
| Río Melchora | 1 | 12 | 22 | 3.33 | 1.17 | 0.26* | 0.59* |
| | 2 | 18 | 795 | 2.57 | 0.44 | 0.26* | 0.59* |
| Río Boca de Sábalos | 1 | 7 | 15 | 2.61 | 1.14 | 0.23 | 0.63 |
| | 2 | 20 | 258 | 2.84 | 0.50 | 0.27 | 0.58 |
| Río Santa Cruz | 1 | 14 | 32 | 3.53 | 1.21 | 0.30 | 0.54 |
| | 2 | 17 | 533 | 2.94 | 0.65 | 0.41 | 0.42 |
| Río Machado | 1 | 15 | 273 | 2.24 | 0.40 | 0.28 | 0.56 |
| | 2 | 8 | 13 | 2.82 | 1.25 | 0.28 | 0.29 |
| Salida RSJ | 1 | 8 | 21 | 2.43 | 0.88 | 0.15 | 0.74 |

* Estos datos son resultado de comparar el segundo muestreo del Río Melchora (referencia) vs el primero.

Al aplicar el índice de Shannon-Weaver quisimos tomar en consideración ambas componentes de la diversidad: la riqueza de especies y la distribución de los individuos de esas especies. En el caso de la Entrada al Río San Juan en el primer muestreo el valor de diversidad encontrado fue de 5.82 lo cual puede explicarse por el mayor número de especies encontradas (16) y una distribución más homogénea entre los individuos de esas especies a pesar que Chironomidae presentó una alta densidad poblacional (49%). El valor de equidad en este sitio fue también mucho mayor que 1 (5.25), lo que es considerado como inusual, probablemente debido a que la distribución de la muestra era más equitativa que la resultante del modelo de MacArthur que fue utilizada para calcularla (USEPA, 1990).

Al contrario en el segundo muestreo para ese mismo sitio se encontró la más baja diversidad (0.13) lo cual se debió principalmente además de la presencia de solo tres especies, a la predominancia que tuvo Chironomidae en la comunidad bentónica en esa época (99%), lo que también se ve reflejado en el valor de equidad más bajo encontrado (0.33)

Los valores de diversidad presentaron sus extremos en el sitio Entrad al Río San Juan (0.13 y 5.82), en el resto de los sitios éstos fluctuaron entre 2.24 (Río Machado) y 3.53 (Río Santa Cruz). La Salida del Río San Juan tuvo un valor de diversidad de 2.43 y un valor de equidad < 1 cumpliendo con el Modelo de MacArthur lo que indica que hay una buena distribución de los individuos (USEPA 1990).

La utilidad de un índice de diversidad o de Shanon-Weaver está en su capacidad de mostrar pequeñas diferencias entre sitios o diferencias a través del tiempo en un mismo sitio (Ravera, 2001). Por lo anteriormente discutido consideramos que el Índice de diversidad de Shannon-Weaver (d) ha mostrado una resolución aceptable para la mayoría de los sitios muestreados en la cuenca del Río San Juan, aunque ciertamente debe ser calculado junto con otros parámetros que puedan ayudar a la interpretación de los resultados (equidad).

En tres de los sitios de estudio (Entrada del RSJ, Ríos Melchora y Santa Cruz) al disminuir la diversidad disminuyó también la equidad de las muestras, por lo que

se infiere que fue la distribución de los individuos en las especies presentes (i.e., equidad) la que influyó más en el valor de la riqueza de especies (que aumentó en los ríos Melchora y Santa Cruz). Sin embargo, en el río Boca de Sábalo que presentó una gran riqueza de especies en el segundo muestreo (20) y una tercera parte de ésta en el primero, notamos que la diversidad no varió excesivamente, en cambio la equidad disminuyó a la mitad. Esto indica que la equidad es mucho más sensible que la diversidad en detectar leves cambios estructurales en la comunidad bentónica (USEPA, 1990).

El fenómeno de dominancia del grupo Chironomidae ha sido reportada en estudios realizados en ríos alrededor del mundo (Polonia, Canadá, Croacia), especialmente cuando la comunidad de macro-invertebrados ha sido muestreada usando sustratos artificiales (Barton y Metcalfe-Smith, 1992; Dumnicka, 1996; Mihaljevic *et al.*, 1998). En la Tabla 8 se puede observar que Chironomidae estuvo presente en altas densidades aún al aumentar el caudal de los ríos (segundo muestreo) y que aparentemente uno de sus períodos de reproducción está entre los meses de abril a junio. También es importante señalar que el tiempo de exposición a que estuvieron sometidos los sustratos durante el segundo muestreo influyen grandemente en los resultados obtenidos.

Tabla 8. Densidades poblacionales del grupo Chironomidae y el caudal en los sitios muestreados

| Sitios de muestreo | Muestreo No. | Mes/Año | Caudal (m ³ / seg) | Densidad poblacional media* (individuos / sustrato) |
|--------------------|--------------|----------------|-------------------------------|---|
| ERSJ | 1 | Noviembre 2002 | 407 | 1141 |
| | 2 | Junio 2003 | 279 | 1610 |
| Río Melchora | 1 | Noviembre 2002 | 5 | 7 |
| | 2 | Junio 2003 | 12 | 318 |
| Río Boca de Sábalo | 1 | Noviembre 2002 | 17 | 8 |
| | 2 | Junio 2003 | 27 | 195 |
| Río Santa Cruz | 1 | Noviembre 2002 | 17 | 14 |
| | 2 | Junio 2003 | 28 | 403 |
| Río Machado | 1 | | NR | 255 |
| | 2 | Junio 2003 | 6 | 5 |
| Salida RSJ | 2 | Junio 2003 | 1105 | 9 |

N.R. No reportado * Promedio de 4-5 réplicas (intervalo de confianza 95%)

Para medir el grado de similitud y disimilitud que podrían considerarse como "natural" entre los sitios estudiados en la cuenca del Río San Juan se escogió como el sitio de referencia al Río Melchora (Anexo 1, Tablas 10 y 11). Este tributario fue uno de los que presentó mayor riqueza de especies de macroinvertebrados en ambos muestreos y además obtuvo la mejor clasificación de la calidad del agua desde el punto de vista físico-químico durante este estudio a pesar que en el estudio de Cruz. O, et.al 1998 había sido considerado como de mediana calidad.

El Río Santa Cruz (ambos muestreos) y la Entrada RSJ (primer muestreo) fueron los sitios que mostraron un mayor grado de similitud (0.41 y 0.32

respectivamente) en composición taxonómica con respecto al sitio de referencia. Los ríos Machado y Boca de Sábalos presentaron similitudes un poco menores (0.28–0.23), pero pueden considerarse como naturales entre los sitios de estudio.

Los sitios Salida del RSJ (único muestreo) y Entrada del RSJ (segundo muestreo) fueron los que presentaron las menores similitudes, casi la mitad de lo “natural” (0.15 y 0.17 respectivamente). Estos dos sitios también presentaron las mayores disimilitudes (0.74 y 0.71 respectivamente) lo que indica que definitivamente tenían una composición de comunidades de macro-invertebrados claramente diferentes al sitio de referencia. Todos los demás tributarios del Río San Juan presentaron disimilitudes menores a 0.59, que es lo que se podía considerar natural entre ellos, distinguiéndose el segundo muestreo de los ríos Machado y Santa Cruz (Tabla 7).

Por lo tanto, podemos decir que el coeficiente de comunidad de Jaccard nos permitió conocer que de los seis sitios muestreados, los sitios Entrada y Salida del Río San Juan presentan una composición taxonómica muy diferente (en términos de presencia o ausencia de taxas) con respecto al sitio de referencia (río Melchora).

5.6 Cálculo del Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de familias (HFBI)

Para la aplicación del Índice Biótico de Familias (Hilsenhoff, 1988) se obtuvo una colección de los grupos taxonómicos de las comunidades bentónicas de cada segmento estudiado del Río San Juan mediante muestreos cuantitativos utilizando sustratos artificiales durante dos períodos (noviembre–diciembre 2002 y abril–junio 2003). Se identificaron los diferentes grupos taxonómicos hasta los niveles de familias asignando el valor de tolerancia obtenido del Apéndice B de Hilsenhoff (Anexo 1, Tabla 8) y se cuantificó el número de individuos de cada familia (USEPA, 1990).

Los valores calculados para el HFBI en cada uno de los sitios muestreados se muestran en el Anexo 1, Tabla 9.

Los resultados encontrados muestran que desde el punto de vista biológico la calidad de las aguas del Río San Juan y sus tributarios es clasificada en dos categorías: moderada y moderadamente mala, lo que significa que éstos ecosistemas presentan desde una alta probabilidad de polución sustancial de materia orgánica y nutrientes hasta polución sustancial de éstos contaminantes. Durante el primer muestreo (noviembre–diciembre 2002) en todos los sitios de estudio con excepción del Río Machado la calidad del agua fue clasificada como moderada, y para el Machado como moderadamente mala, en cambio para el segundo muestreo (abril–junio 2003) todos los sitios de muestreo fueron clasificados como aguas moderadamente malas con excepción del río Machado, esto probablemente se debió a la influencia que ejerce el caudal de los ríos, al tipo de muestreo realizado y al tiempo de permanencia de los sustratos en el agua el cual permitió una mayor colonización de los individuos más dominantes (Tabla 9).

Tabla 9 Clasificación de la calidad de las aguas del Río San Juan y sus tributarios mediante la aplicación del índice biótico de familias de Hilsenhoff

| Sitios de muestreo | Muestreo No. | Índice Biótico de Hilsenhoff (HFBI) | Clasificación | Grado de Polución orgánica |
|--------------------|--------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| ERSJ | 1 | 5.56 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| | 2 | 6.00 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| Río Melchora | 1 | 5.64 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| | 2 | 5.95 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| Río Boca de Sábalo | 1 | 5.71 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| | 2 | 5.94 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| Río Santa Cruz | 1 | 5.54 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| | 2 | 5.90 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| Río Machado | 1 | 5.97 | Moderadamente mala | Polución sustancial |
| | 2 | 5.75 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |
| Salida RSJ | 1 | 5.57 | Moderada | Alta probabilidad de polución sustancial |

Clasificación: 0-3.75 excelente, 3.76-4.25 muy buena, 4.26-5 buena, 5.01-5.75 moderada, 5.76-6.50 moderadamente mala, 6.15-7.25 mala, 7.26-10 muy mala

5.7 Comparación de la calidad del agua asignada por el índice CWQI y el índice HFBI

Al comparar las clasificaciones de la calidad de agua del Río San Juan y sus tributarios de acuerdo al CWQI y al criterio del índice biótico (HFBI) (Tabla 10) es obvio que ambos índices concuerdan en asignar bajas categorías de calidad a los ecosistemas bajo estudio (regular o moderada a mala). Sin embargo, es el

CWQI el que logra clasificar los ecosistemas en mayor cantidad de niveles de calidad, por lo que lo consideramos con más poder de discriminación y por lo tanto más preciso que el biótico.

Tabla 10 Comparación entre el Índice CWQI y el Índice Biótico HFBI

| CWQI / CIRA / Hidroquímica | HFBI (Muestreo I y II) | |
|--|---|---|
| Excelente (95-100) | Excelente (0-3.75) | |
| Buena (80-94) | Muy buena (3.76-4.25) | |
| Regular (65-79) Melchora 66 | Buena (4.26-5) | |
| Marginal (45-64) Machado 61 ERSJ 56 | Boca de Sábalos 5.71 Melchora 5.64 SRSJ 5.57 ERSJ 5.56 Santa Cruz 5.5 | Moderada (5.01-5.75) Machado 5.75 |
| Mala (0-44) Boca de Sábalos 42 Santa Cruz 41 SRSJ 33 | Moderadamente Mala (5.76-6.50) Machado 5.97 | |
| | Mala (6.15-7.25) | |
| | Muy mala (7.26-10) | |

Hay muchos factores que pueden explicar el bajo poder de discriminación del índice biótico (HFBI) en este estudio. En principio, este índice fue diseñado para detectar únicamente contaminación debida a materia orgánica y nutrientes, y se sabe que los ecosistemas estudiados reciben también otros tipos de contaminación (plaguicidas, metales pesados, etc.), por lo que, su imprecisión es entendible ya que él no puede discriminar entre diferentes tipos de contaminación. Lo anteriormente mencionado ha sido reportado como la limitación más importante de los índices bióticos (Barton y Metcalfe-Smith 1992).

También es conocida la alta variabilidad de los resultados debido a la distribución espacial heterogénea de las poblaciones de macro-invertebrados y a la técnica empleada para el muestreo (USEPA 1987, Barton y Metcalfe-Smith 1992).

La USEPA (1987) afirma que hay un gran número de factores que determinan la composición de la comunidad de macro-invertebrados, y que su combinación pueden actuar en conjunto o en oposición. Estos factores pueden ser desde cambios severos de temperatura, o la presencia de sustancias tóxicas, hasta las propias características físicas de los ambientes estudiados, particularmente el tipo de sustrato y la velocidad de la corriente. En este sentido, en el estudio realizado por Barton y Metcalfe-Smith (1992) en el Río Yamaska (Québec, Canadá) se concluyó que cada técnica de muestreo utilizada (Surber, sustratos artificiales y pala) produjo estimados muy diferentes de la abundancia relativa de la comunidad de macro-invertebrados en los 13 sitios estudiados, asignando diferentes clasificaciones de la calidad del agua. En ese estudio se reportó que las comunidades residentes (muestreadas con Surber) indicaron impacto más severo que las comunidades colonizadoras (muestreadas con sustratos artificiales).

De esto podríamos deducir que los sustratos artificiales dan un estimado de la densidad poblacional béntica que los colonizó en 4 u 8 semanas, lo que no es necesariamente un estimado de la densidad poblacional de la fauna bentónica residente en cada sitio de estudio. Sin embargo, para el caso del río Machado que fue el único discriminado de los otros cinco sitios de estudio, el HFBI pudo detectar la mejoría en la calidad de agua entre muestreos al disminuir la polución orgánica (disminución de la DQO de 18 a 5 mg L⁻¹).

6. CONCLUSIONES

- ✓ El carácter hidroquímico del agua del Río San Juan (RSJ) y sus cuatro principales tributarios es del tipo bicarbonato cálcico, a excepción del sitio Salida del Río San Juan que presenta el tipo sulfato cálcico, probablemente debido a la influencia del Río Sarapiquí.
- ✓ Los sitios Salida del Río San Juan y río Machado deben considerarse como puntos críticos para la calidad del agua del RSJ debido a que presentan tendencia a la acidificación por sus bajos valores de pH y alcalinidad. < 20 mg L⁻¹
- ✓ Los tributarios Boca de Sábalos y Santa Cruz son los que aportan la mayor carga instantánea de nitrógeno total 8,666 y 8,078 kg d⁻¹ respectivamente y el río Santa Cruz aportó la mayor carga instantánea de fósforo de 191 kg d⁻¹ al RSJ, debido a que presentaron los mayores caudales (2–7 veces) en comparación con los otros ríos.
- ✓ El índice de calidad de agua Canadiense (CWQI) clasifica el agua de los ríos Melchora, Santa Cruz y Machado como de buena calidad para el uso ganadería y la de los sitios Boca de Sábalos, Entrada RSJ y Salida RSJ como de regular calidad.
- ✓ El índice CWQI clasifica el agua del Río Machado como de regular calidad para el uso irrigación y la de los otros sitios como marginal.
- ✓ El CWQI clasifica el agua de todos los sitios muestreados como de mala calidad para el uso protección de la vida acuática.
- ✓ El Índice CIRA/Hidroquímica clasifica el agua del río Melchora como de regular para el uso protección de la vida acuática y la de los sitios Entrada RSJ y río Machado como de marginal calidad y la de los sitios Boca de Sábalos y Salida RSJ como de mala calidad.

- ✓ El Índice Biótico de Hilsenhoff al nivel de familias (HFBI) clasifica a los sitios muestreados en dos categorías: moderada calidad para el primer muestreo y de moderadamente mala para el segundo muestreo, a excepción del río Machado.
- ✓ La alta densidad poblacional del grupo Chironomidae en los sitios muestreados se debe probablemente a su carácter migratorio, que lo hace un excelente colonizador.
- ✓ La variabilidad de la riqueza de taxas y de la abundancia poblacional en la Cuenca del Río San Juan muestra que los valores más altos se encuentran en los sectores ubicados aguas arriba.
- ✓ El coeficiente de comunidad de Jaccard determinó que los sitios Entrada y Salida del Río San Juan presentan una composición taxonómica muy diferente con respecto al sitio de referencia (Río Melchora) y al resto de los sitios estudiados
- ✓ Al comparar el Índice CWQI y el Índice Biótico HFBI, ambos concuerdan en clasificar las aguas del Río San Juan y sus tributarios de regular hasta marginal y mala.

7. RECOMENDACIONES

Del estudio realizado se pueden extraer también una serie de recomendaciones a modo de reflexión final:

- ✓ Es de imperante necesidad la elaboración de normas Nicaragüenses para los diferentes usos del agua (recreación, ganadería, etc) que establezcan los objetivos de calidad de acuerdo a las condiciones propias del país.
- ✓ Para mejorar el desempeño del Índice biótico de Hilsenhoff se recomienda clasificar las comunidades artrópodos de macro-invertebrados hasta el nivel de especies.
- ✓ Las comunidades de macroinvertebrados se deben analizar comparando al menos dos técnicas de muestreo, de tal manera, que se pueda determinar si son las comunidades colonizadoras o las residentes las más tolerantes o susceptibles a la contaminación.
- ✓ Crear una red de monitoreo binacional y sistemático que permitan vigilar la evolución temporal de algunos parámetros que incidan sobre la calidad de los recursos hídricos de la Cuenca del RSJ. Ejemplo: pH, alcalinidad, sólidos suspensos, nutrientes, oxígeno disuelto y DQO. Este esfuerzo daría las pautas necesarias para la toma de decisiones que permitan proteger tan preciado recurso.
- ✓ Reactivar la Red básica de observaciones hidrometeorológicas e hidrológicas en toda la cuenca para contar con registros actualizados.
- ✓ Debido a la posición estratégica y el gran potencial turístico que tiene el Río San Juan es de gran trascendencia, desarrollar a lo inmediato por medio del Gobierno central y con el apoyo de las comunidades locales Planes de Gestión adecuadas para mejorar el Manejo de la Cuenca del Río San Juan y evitar el progresivo deterioro en la Calidad de las aguas de este ecosistema.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alba-Tercedor J. 1996 **Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos** IV Simposio de Agua en Andalucía (SIAGA),. Almeria, vol. II: 203-213 ISBN: 84-7840-262-4
- APHA-AWWA-WEF (1992). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**, Editada por A. E. Greenberg, L. S. Clesceri y A. D. Eaton, Washington D.C. 18ava. Edición. ISBN 0-87553-207-1
- Baird, C. 2001 **Química Ambiental** Química del aire a nivel del suelo y contaminación del aire. Editorial Reverté , Barcelona, España pag 89-113
- Barton, D.R, J.L. Metcalfe–Smith 1992 **A comparison of sampling techniques and summary indices for assessment of water quality in the Yamaska river, Québec, based on benthic macroinvertebrates** Environmental Monitoring and Assessment 21: 225-244.
- Brönmark C. Y L-A. Hansson. 1998. The abiotic frame and adaptations to COPE with abiotic constraints, en M. Crawley, C. et al. (eds.), **The biology of lakes and ponds**, Oxford University Press, New York. Págs. 7-52.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2002. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life**. Summary Tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Clark, R.T., et al. 2002. Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices. *Freshwater Biology* 47:1735-1751.
- Clark, R.T., Furse M.T., Jun.R.J., et al (2002) **Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices**. Centre for Ecology and Hydrology Dorset, Winfrith Technology Centre, winfrith Newburgh, Dorchester, Dorset, DT2
- Crompton, W.G., T.M. Isenhardt & P.D. Mitchell. (1992) **Nitrate and organic N analysis with second-derivate spectroscopy**. *Limnology & Oceanography* 37:907-913
- Cruz. M, Oscar, Molina M. Junette, et. al. 1998. **Evaluación de la Calidad Hidroquímica del Río San Juan y sus tributarios**. CIRA / UNAN

- Custodio.E. M.R.Llamas, 2001 ***Hidrogeoquímica, Hidrología Subterránea*** Impreso en España, Ediciones Omega S.A ISBN 84-282-0447-0 (Tomo I) pag. 1056-1060
- Cushing.Colbert E, David Allan, J. (2001) ***Streams. Their Ecology and Life. Insects*** Academic press Road, London Number :0-12-050340-9
- Davis N. M., et al. 2003. ***An assessment of water quality, physical habitat, and biological integrity of an urban stream in Wichita, Kansas, prior to restoration improvements (Phase I)***. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 44:351-359.
- Donoso T.G., Núñez J.D. y Barra J.G. 2000. ***Calidad Físico-Química del agua del río Damas Osorno***, Chile. Medio Ambiente 13 (2) : 97-119
- EPA (1999) ***National Recommended Water Quality Criteria-Correction***. Office of water 4304 EPA 822-Z-99-001
- Erickson, P.K. 1987. ***An assessment of the potential sensitivity of Alberta lakes to acidic deposition***. Pollution Control Division, Alberta Environment.
- García, R.E, 1999 ***Análisis comparativo de la Integridad de la Comunidad Béntica en el Río San Juan***. Congreso de Ecología, Plaguicidas e investigación Científica en los lagos Xolotlán, Cocibolca y Río San Juan. Documento disponible en la Biblioteca del CIRA / UNAN, Septiembre 1999.
- Hellawell, J.M. 1986 ***Biological indicators of freshwater pollution and environmental management***. Elsevier, England.
- Hilsenhoff, W.L. 1987 ***An improved biotic index of organic stream pollution*** The great lakes entomologist J.N. Am. Benthol. Vol.20. No 1
- Hilsenhoff, W.L. 1988a ***Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index***. J.N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68
- Hilsenhoff, W.L. 1988b ***Seasonal correction factors for the biotic index*** ¹ J.N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68
- Lacayo. M. et, al 1992. ***Características Físico-Químicas de las Aguas del Río San Juan***. CIRA / UNAN. Documento en la biblioteca del CIRA / UNAN

- Luttenbarck, B. 1996 ***Calidad del agua: Diagnóstico, estrategias y acciones de gestión en Nicaragua y Costa Rica***. OEA. Proyecto de Manejo Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan.
- MARENA 2001 ***Informe del Estado Ambiental en Nicaragua 2001***. Primera edición, Gráfica editores 118 pag. ISBN :99924-809-2-0
- MARENA, 2001. ***Estudio Básico Monitoreo Hidrometeorológico y de la calidad del agua en la Cuenca del Río San Juan***.
- MARENA, SPDMR-BM, PNUMA/ORPALC, 2003 ***Estado del Ambiente en Nicaragua 2003***. II Informe GEO. Primera Edición, Impresión Comercial La Prensa 2004
- Merrit, R.W. & K.W. Cummins 1978 ***An Introduction to the Aquatic Insects of North Iowa***. 722 pág.
- Mihaljevic, Z. M. Kerovec, V. Tavcar, 1998 ***Macroinvertebrate community on an artificial substrate in the Sava river: long-term changes in the community structure and water quality***. Biología, Bratislava, 53/5:611-620
- Molina, J. 1994. ***Tercer informe sobre la caracterización Físico-Química de las aguas del Río San Juan y sus tributarios*** Documento en la biblioteca del CIRA / UNAN
- Organización Mundial de la salud. 1995. ***Guías para la Calidad del Agua Potable***, OPS, Washington Volumen 1 Recomendaciones
- Organización Mundial de la salud. 1995. ***Guías para la Calidad del Agua Potable***, OPS, Washington Volumen 2
- Pennak, R.W. (1978). ***Fresh-Water invertebrates of the United States***. 803 pag.
- Piura, J. (2000) ***Introducción a la metodología de la investigación científica***. Cuarta Edición. CIES/ UNAN. 184p. Publicación Científica de la Escuela de Salud Pública de Nicaragua
- PNUMA, OEA, MARENA (1997) ***Manejo Ambiental y Desarrollo sostenible de la Cuenca del Río San Juan*** . Estudio de diagnóstico de la Cuenca del Río San Juan y lineamientos del Plan de acción. Washinton, D.C.

- Poch, M. (1999) **Las Calidades del Agua**. Editorial Rubes. Primera Edición. Barcelona, España. ISBN:84-497-0075-2. Calidad del agua: indicadores. Págs. 25-58.
- Ravera, O. 2001 **A comparison between diversity, similarity and biotic indices applied to the macroinvertebrate community of a small stream: the Ravella river (Como Province, Northern Italy)** Aquatic Ecology 35: 97-107,2001.
- Rodier, J. (1981) **Análisis de la aguas. Aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar**. Ediciones Omega, S.A, Barcelona, España. ISBN:84-282-0625-2. 1059p. Determinación de Nitrógeno Amoniacal. p. 137-140
- Roldan, G. 1988. **Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos** Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia . 217 pág.
- Scarsbrook M. R., I. K. G. Boothroyd, y J. M. Quinn. 2000. **New Zealand's National water quality network: long-term trends in macroinvertebrate communities**. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* Vol. **34**:289-302.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1990. **Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters**. Office of research and development. Washington DC 20460. EPA/600/4-90/030.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2002. **National recommended water quality criteria**. In: United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, EPA 822-R-02-047.
- Wetzel, R.G. 1981a. **Carbono Inorgánico**, en W.B. Saunders (ed), **Limnología**, Ediciones Omega S. A., Barcelona , Pag.151-168.
- Wetzel, R.G. 1981b. El ciclo del nitrógeno, en W.B. Saunders (ed), **Limnología**, Ediciones Omega S. A., Barcelona , Pag.169-194.
- Wetzel, R.G. 1981b. Salinidad de las aguas continentales, en W.B. Saunders (ed), **Limnología**, Ediciones Omega S. A., Barcelona , Pag.130-150.
- Wetzel, R.G. 1981c. Oxígeno, en W.B. Saunders (ed), **Limnología**, Ediciones Omega S. A., Barcelona , Pag.112-129.
- Canadian Environmental Quality Guidelines 2002 http://www.ec.gc.ca/CEQG-RCAE/English/ceqg_water/default.cfm Fecha de consulta: 2004-02-15

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001)
<http://www.ccme.ca/cegg-rcqe/ea2.html>) Fecha de consulta: 2003-10-20

Madrid.org (Comunidad de Madrid 2004)
http://www.madrid.org/comun/ticas_MedioAmbiente Fecha de consulta:
2005-02-02

Anexo 1. Tablas de resultados y cálculos de índices

Índice

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Composición iónica por sitio de muestreo en el Río San Juan y sus tributarios durante el periodo 2002-2003 | 72 |
| Tabla 2 Estimación de la carga instantánea de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en el Río San Juan y sus tributarios..... | 74 |
| Tabla 3 Objetivos de calidad utilizados para obtener el CWQI 1.0 para los diferentes usos del agua del Río San Juan y sus tributarios..... | 76 |
| Tabla 4 Valores calculados por el programa CWQ I 1.0 para la calidad del agua y los tres atributos que la caracterizan (alcance, frecuencia y amplitud).por sitio o tributario estudiado..... | 77 |
| Tabla 5 Obtención de la diversidad media y la equidad en cada sitio de muestreo..... | 79 |
| Tabla 6 La diversidad de especies (\bar{d}) características del Modelo de MacArthur's para varios números de especies hipotéticas s'..... | 90 |
| Tabla 7 Listado de taxa de macroinvertebrados bentónicos encontrados en los sitios de estudio..... | 91 |
| Tabla 8 Valores de tolerancia del nivel de polución para la familia de los Artropodos ¹ según Hilsenhoff..... | 95 |
| Tabla 9 Obtención del Valor del HFBI para los macroinvertebrados bentónicos en cada sitio de estudio..... | 98 |
| Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para la Entrada del Río San Juan (Primer muestreo)..... | 103 |
| Tabla 11 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para la Entrada del Río San Juan (Segundo muestreo) | 113 |
| Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de agua CWQI 1.0..... | 121 |

Tabla 1 Composición iónica por sitio de muestreo en el Río San Juan y sus tributarios durante el período 2002-2003

Entrada del RSJ

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|-------------------------|
| Noviembre | 0.860 | 0.080 | 0.530 | 0.060 | 0.310 | 0.101 | 1.050 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Junio | 0.400 | 0.16 | 0.143 | 0.036 | 0.094 | 0.084 | 0.527 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Julio | 0.457 | 0.239 | 0.413 | 0.044 | 0.253 | 0.099 | 0.776 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Abril | 0.742 | 0.664 | 0.943 | 0.124 | 0.592 | 0.188 | 1.218 | HCO ₃ -Ca/Mg |

Río Melchora

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|-------------------------|
| Noviembre | 0.900 | 0.440 | 0.368 | 0.031 | 0.136 | 0.045 | 1.565 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Junio | 0.510 | 0.392 | 0.219 | 0.046 | 0.099 | 0.049 | 0.928 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Julio | 0.920 | 0.467 | 0.388 | 0.031 | 0.171 | 0.053 | 1.603 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Abril | 1.758 | 1.095 | 0.867 | 0.082 | 0.388 | 0.028 | 3.319 | HCO ₃ -Ca/Mg |

Río Boca de Sábalos

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|-------------------------|
| Noviembre | 0.500 | 0.300 | 0.284 | 0.020 | 0.099 | 0.033 | 0.924 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Junio | 0.420 | 0.220 | 0.195 | 0.041 | 0.135 | 0.046 | 0.464 | HCO ₃ -Ca/Mg |
| Julio | 0.497 | 0.159 | 0.232 | 0.034 | 0.122 | 0.035 | 0.69 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Abril | 0.918 | 0.645 | 0.844 | 0.109 | 0.504 | 0.161 | 1.848 | HCO ₃ -Ca/Na |

Río Santa Cruz

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|-------------------------|
| Noviembre | 0.410 | 0.100 | 0.205 | 0.020 | 0.073 | 0.032 | 0.599 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Junio | 0.420 | 0.138 | 0.191 | 0.044 | 0.114 | 0.041 | 0.424 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Julio | 0.397 | 0.159 | 0.228 | 0.034 | 0.117 | 0.033 | 0.603 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Abril | 0.976 | 0.391 | 0.438 | 0.064 | 0.155 | 0.036 | 1.659 | HCO ₃ -Ca/Na |

Continuación de la tabla 1

Río Machado

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|-------------------------|
| Diciembre | 0.204 | 0.112 | 0.137 | 0.023 | 0.108 | 0.018 | 0.315 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Junio | 0.140 | 0.039 | 0.114 | 0.021 | 0.049 | 0.015 | 0.265 | HCO ₃ -Ca/Na |
| Julio | 0.079 | 0.139 | 0.141 | 0.021 | 0.083 | 0.025 | 0.266 | HCO ₃ -Mg/Na |

Salida del Río San Juan

| Iones (meq/l) | Calcio | Magnesio | Sodio | Potasio | Cloruros | Sulfatos | Bicarbonatos | Clasificación |
|---------------|--------|----------|-------|---------|----------|----------|--------------|------------------------|
| Diciembre | 0.700 | 0.366 | 0.227 | 0.051 | 0.188 | 0.851 | 0.263 | SO ₄ -Ca/Mg |
| Junio | 0.520 | 0.286 | 0.208 | 0.039 | 0.135 | 0.500 | 0.396 | SO ₄ -Ca/Mg |
| Julio | 0.566 | 0.159 | 0.179 | 0.041 | 0.145 | 0.559 | 0.221 | SO ₄ -Ca/Mg |
| Abril | 0.644 | 0.801 | 0.268 | 0.064 | 0.214 | 1.218 | 0.231 | SO ₄ -Mg/Ca |

Tabla 2 Estimación de la carga instantánea de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en el Río San Juan y sus tributarios durante el período 2002-2003

$$Q_M = \text{Conc} \times Q$$

Entrada al RSJ

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Nov-02 | 407110 | 0.011 | 386.92 | 0.139 | 4889.23 |
| | Jun-03 | 279360 | 0.051 | 1230.97 | 0.784 | 18923.18 |
| seca | Abr-03 | 142530 | 0.128 | 1576.27 | 0.402 | 4950.47 |

Río Melchora

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Nov-02 | 5280 | 0.038 | 17.34 | 0.155 | 70.71 |
| | Jun-03 | 11730 | 0.155 | 157.09 | 0.795 | 805.71 |
| seca | Abr-03 | 2007 | 0.093 | 16.13 | 0.392 | 67.97 |

Río Sábalos

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Nov-02 | 16570 | 0.022 | 31.50 | 0.213 | 304.94 |
| | Jun-03 | 26940 | 0.020 | 46.55 | 3.723 | 8665.71 |
| seca | Abr-03 | 14650 | 0.099 | 125.31 | 0.45 | 569.59 |

Continuación de la Tabla 2

Río Santa Cruz

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Nov-02 | 16570 | 0.046 | 65.86 | 0.210 | 300.65 |
| | Jun-03 | 27630 | 0.080 | 190.98 | 3.384 | 8078.39 |
| seca | Abr-03 | 5790 | 0.022 | 11.01 | 0.106 | 53.03 |

Río Machado

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Jun-03 | 6060 | 0.003 | 1.57 | 0.633 | 331.43 |

Salida del RSJ

| Estación | Mes | Caudal (Q) | PT | Carga PT (C _P) | NT | Carga NT (C _N) |
|----------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | l s ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ | mg L ⁻¹ | kg d ⁻¹ |
| lluviosa | Jun-03 | 1105000 | 0.095 | 9069.84 | 1.193 | 113898.10 |
| seca | Abr-03 | 474750 | 0.266 | 10910.89 | 0.331 | 13577.09 |

Tabla 3 Objetivos de Calidad utilizados para obtener el CWQI para los diferentes usos del agua del Río San Juan y sus tributarios

| Variables | | Todos los usos | | Protección de la vida acuática | | Irrigación | Ganadería | CIRA / HQ Acuática | |
|-----------|-------------|----------------|-------|--------------------------------|-------|------------|-----------|--------------------|-------|
| | | Min | Max | Min | Max | Max | Max | Min | Max |
| 1 | Color | | 15 | | | | 15 | | |
| 2 | Turbidez * | | 5 | | 24 | | | | 24 |
| 3 | OD | 6 | | 6 | | | | 6 | |
| 4 | pH | 6.5 | 8.5 | 6.5 | 9 | | | 6.5 | 9 |
| 5 | Alcalinidad | 20 | | 20 | | | | 20 | |
| 6 | Calcio | | 1000 | | | | 1000 | | |
| 7 | Sodio | | 200 | | | | | | |
| 8 | Magnesio | | 0.2 | | | 0.2 | | | |
| 9 | Sulfato | | 500 | | | | 1000 | | |
| 10 | Cloruro | | 110 | | | 110 | | | |
| 11 | Fluoruro | | 1.2 | | 1.2 | | | | 1.2 |
| 12 | Sol. Susp * | | | | 25 | | | | 25 |
| 13 | Fósforo | | | | 0.075 | | | | 0.075 |
| 14 | Aluminio | | 0.005 | | 0.005 | 5 | 5 | | 0.087 |
| 15 | Arsénico | | 0.005 | | 0.005 | 0.1 | 0.025 | | 0.005 |
| 16 | Cadmio | | 0.005 | | 0.005 | 0.0051 | 0.08 | | 0.005 |
| 17 | Cromo | | 0.001 | | 0.001 | 0.0049 | 0.05 | | 0.074 |
| 18 | Cobre | | 0.002 | | 0.002 | 0.2 | 0.5 | | 0.009 |
| 19 | Hierro | | 0.1 | | 0.3 | 0.2 | 0.1 | | 0.3 |
| 20 | Manganeso | | 0.05 | | 0.05 | 0.2 | | | 0.05 |
| 21 | Níquel | | 0.025 | | 0.025 | 0.2 | 1 | | 0.025 |
| 22 | Plomo | | 0.001 | | 0.001 | 0.2 | 0.1 | | 0.001 |
| 23 | Selenio | | 0.001 | | 0.001 | 0.02 | 0.05 | | 0.001 |
| 24 | Zinc | | 0.03 | | 0.03 | 1.0 | 5 | | 0.03 |

Las unidades de todas las variables están en mg L⁻¹ con excepción de la turbidez (UNT) y el pH (Unidades)

* Los valores de estos objetivos son diferentes para cada sitio analizado debido a que dependen de los valores históricos de dicha variable.

Tabla 4 Valores calculados por el programa CWQI 1.0 para la calidad del agua y los tres atributos que la caracterizan (alcance, frecuencia y amplitud), por sitio o tributario estudiado

Entrada del Río San Juan

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 38 | 60 | 75 | 32 | 56 |
| Clasificación | Pobre | Marginal | Buena | Pobre | Marginal |
| F1 (Alcance) | 52 | 15 | 14 | 65 | 59 |
| F2 (Frecuencia) | 37 | 17 | 13 | 38 | 31 |
| F3 (Amplitud) | 85 | 65 | 39 | 87 | 38 |

Río Melchora

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 39 | 53 | 81 | 37 | 66 |
| Clasificación | Pobre | Marginal | Buena | Pobre | Marginal |
| F1 (Alcance) | 48 | 15 | 14 | 59 | 41 |
| F2 (Frecuencia) | 42 | 17 | 15 | 41 | 29 |
| F3 (Amplitud) | 84 | 78 | 26 | 82 | 31 |

Río Boca de Sábalo

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 32 | 58 | 78 | 28 | 42 |
| Clasificación | Pobre | Marginal | Regular | Pobre | Mala |
| F1 (Alcance) | 52 | 23 | 21 | 65 | 53 |
| F2 (Frecuencia) | 42 | 20 | 15 | 40 | 33 |
| F3 (Amplitud) | 98 | 66 | 28 | 98 | 79 |

Continuación de la Tabla 4

Río Santa Cruz

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 36 | 64 | 80 | 31 | 41 |
| Clasificación | Pobre | Marginal | Buena | Pobre | Mala |
| F1 (Alcance) | 43 | 23 | 21 | 59 | 59 |
| F2 (Frecuencia) | 31 | 20 | 13 | 34 | 33 |
| F3 (Amplitud) | 98 | 54 | 25 | 98 | 78 |

Río Machado

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 43 | 75 | 88 | 41 | 61 |
| Clasificación | Pobre | Regular | Buena | Pobre | Marginal |
| F1 (Alcance) | 48 | 15 | 14 | 53 | 47 |
| F2 (Frecuencia) | 36 | 18 | 9 | 34 | 32 |
| F3 (Amplitud) | 78 | 36 | 12 | 81 | 35 |

Salida del Río San Juan

| | Todos los usos | Irrigación | Ganadería | Protección de la vida acuática | CIRA / HQ |
|-----------------|----------------|------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| CWQI | 30 | 52 | 68 | 20 | 33 |
| Clasificación | Pobre | Marginal | Regular | Pobre | Mala |
| F1 (Alcance) | 61 | 31 | 21 | 82 | 76 |
| F2 (Frecuencia) | 43 | 22 | 11 | 55 | 52 |
| F3 (Amplitud) | 96 | 74 | 51 | 97 | 69 |

Tabla 5 Obtención de la Diversidad media y la equidad en cada sitio de muestreo

| Entrada RSJ | | Noviembre 2002 |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
| 1 | 635 | 1779.7613 |
| 2 | 192 | 438.3938 |
| 3 | 89 | 173.4957 |
| 4 | 260 | 627.8931 |
| 5 | 159 | 350.0221 |
| 6 | 9 | 8.5882 |
| 7 | 102 | 204.8772 |
| 8 | 197 | 452.0098 |
| 9 | 280 | 685.2042 |
| 10 | 169 | 376.5129 |
| 11 | 163 | 360.5866 |
| 12 | 31 | 46.2322 |
| 13 | 93 | 183.0689 |
| 14 | 25 | 34.9485 |
| 15 | 75 | 140.6296 |
| 16 | 6 | 4.6689 |
| 16 | 2485 | 4087.1318 |
| $N \log_{10} N$ | 8437.386087 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 5.82 | |
| Equidad | 5.25 | |

Continuación de la Tabla 5

| Entrada RSJ | | Abril 2003 |
|-----------------------------|--|---|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | n_i log₁₀ n_i |
| 1 | 20 | 26.0206 |
| 2 | 7 | 5.9157 |
| 3 | 1610 | 5162.9897 |
| 3 | 1637 | 5194.9259 |
| N log₁₀ N | 5261.40 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 0.13 | |
| Equidad | 0.33 | |

Continuación de la Tabla 5

Rio Melchora

Noviembre 2002

| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
|-----------------------------|---|---------------------|
| 1 | 4 | 2.4082 |
| 2 | 1 | 0.0000 |
| 3 | 1 | 0.0000 |
| 4 | 1 | 0.0000 |
| 5 | 1 | 0.0000 |
| 6 | 1 | 0.0000 |
| 7 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 3 | 1.4314 |
| 9 | 1 | 0.0000 |
| 10 | 4 | 2.4082 |
| 11 | 2 | 0.6021 |
| 12 | 2 | 0.6021 |
| 12 | 22 | 7.4520 |
| N log₁₀ N | 29.53329898 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 3.33 | |
| Equidad | 1.17 | |

Continuación de la Tabla 5

Rio Melchora

Abril 2003

| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
|-----------------------------|---|---------------------|
| 1 | 41 | 66.1241 |
| 2 | 393 | 1019.5963 |
| 3 | 1 | 0.0000 |
| 4 | 1 | 0.0000 |
| 5 | 16 | 19.2659 |
| 6 | 1 | 0.0000 |
| 7 | 17 | 20.9176 |
| 8 | 2 | 0.6021 |
| 9 | 2 | 0.6021 |
| 10 | 16 | 19.2659 |
| 11 | 108 | 219.6098 |
| 12 | 31 | 46.2322 |
| 13 | 63 | 113.3585 |
| 14 | 50 | 84.9485 |
| 15 | 46 | 76.4869 |
| 16 | 1 | 0.0000 |
| 17 | 4 | 2.4082 |
| 18 | 2 | 0.6021 |
| 18 | 795 | 1690.0201 |
| N log₁₀ N | 2305.791867 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.57 | |
| Equidad | 0.44 | |

Continuación de la Tabla 5

Río Boca de Sábalos

Noviembre 2002

| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
|-----------------------------|--|---------------------|
| 1 | 4 | 2.4082 |
| 2 | 2 | 0.6021 |
| 3 | 1 | 0.0000 |
| 4 | 1 | 0.0000 |
| 5 | 3 | 1.4314 |
| 6 | 1 | 0.0000 |
| 7 | 3 | 1.4314 |
| 7 | 15 | 5.8730 |
| N log₁₀ N | 17.64136889 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.61 | |
| Equidad | 1.14 | |

Continuación de la Tabla 5

Río Boca de Sábalos

Abril 2003

| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
|-----------------------------|---|---------------------|
| 1 | 5 | 3.4949 |
| 2 | 1 | 0.0000 |
| 3 | 1 | 0.0000 |
| 4 | 11 | 11.4553 |
| 5 | 9 | 8.5882 |
| 6 | 18 | 22.5949 |
| 7 | 7 | 5.9157 |
| 8 | 1 | 0.0000 |
| 9 | 5 | 3.4949 |
| 10 | 1 | 0.0000 |
| 11 | 3 | 1.4314 |
| 12 | 17 | 20.9176 |
| 13 | 21 | 27.7666 |
| 14 | 10 | 10.0000 |
| 15 | 2 | 0.6021 |
| 16 | 128 | 269.7229 |
| 17 | 13 | 14.4813 |
| 18 | 1 | 0.0000 |
| 19 | 3 | 1.4314 |
| 20 | 1 | 0.0000 |
| 20 | 258 | 401.8970 |
| N log₁₀ N | 622.1978841 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.84 | |
| Equidad | 0.50 | |

Continuación de la Tabla 5

| Río Santa Cruz | | Noviembre 2002 |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
| 1 | 2 | 0.6021 |
| 2 | 1 | 0.0000 |
| 3 | 1 | 0.0000 |
| 4 | 3 | 1.4314 |
| 5 | 4 | 2.4082 |
| 6 | 2 | 0.6021 |
| 7 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 1 | 0.0000 |
| 9 | 2 | 0.6021 |
| 10 | 1 | 0.0000 |
| 11 | 7 | 5.9157 |
| 12 | 3 | 1.4314 |
| 13 | 2 | 0.6021 |
| 14 | 2 | 0.6021 |
| 14 | 32 | 14.1970 |
| $N \log_{10} N$ | 48.16479931 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 3.53 | |
| Equidad | 1.21 | |

Continuación de la Tabla 5

| Río Santa Cruz | | Abril 2003 |
|-----------------------------|---|---------------------|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
| 1 | 7 | 5.9157 |
| 2 | 1 | 0.0000 |
| 3 | 73 | 136.0226 |
| 4 | 5 | 3.4949 |
| 5 | 18 | 22.5949 |
| 6 | 21 | 27.7666 |
| 7 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 4 | 2.4082 |
| 9 | 2 | 0.6021 |
| 10 | 5 | 3.4949 |
| 11 | 80 | 152.2472 |
| 12 | 74 | 138.3231 |
| 13 | 8 | 7.2247 |
| 14 | 1 | 0.0000 |
| 15 | 84 | 161.6395 |
| 16 | 147 | 318.5956 |
| 17 | 2 | 0.6021 |
| 17 | 533 | 980.9320 |
| N log₁₀ N | 1453.345602 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.94 | |
| Equidad | 0.65 | |

Continuación de la Tabla 5

| Río Machado | | Diciembre 2002 |
|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
| 1 | 1 | 0.0000 |
| 2 | 5 | 3.4949 |
| 3 | 3 | 1.4314 |
| 4 | 4 | 2.4082 |
| 5 | 1 | 0.0000 |
| 6 | 4 | 2.4082 |
| 7 | 2 | 0.6021 |
| 8 | 6 | 4.6689 |
| 9 | 81 | 154.5873 |
| 10 | 16 | 19.2659 |
| 11 | 12 | 12.9502 |
| 12 | 130 | 274.8126 |
| 13 | 2 | 0.6021 |
| 14 | 1 | 0.0000 |
| 15 | 5 | 3.4949 |
| 15 | 273 | 480.7266 |
| $N \log_{10} N$ | 665.0724026 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.24 | |
| Equidad | 0.40 | |

Continuación de la Tabla 5

| Río Machado | | Junio 2003 |
|-----------------------------|--|---|
| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | n_i log₁₀ n_i |
| 1 | 1 | 0.0000 |
| 2 | 3 | 1.4314 |
| 3 | 3 | 1.4314 |
| 4 | 1 | 0.0000 |
| 5 | 2 | 0.6021 |
| 6 | 1 | 0.0000 |
| 7 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 13 | 3.4648 |
| N log₁₀ N | 14.48126358 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.82 | |
| Equidad | 1.25 | |

Continuación de la Tabla 5

Salida del Río San Juan

Diciembre 2002

| Número de Taxas | Número de individuos en cada taxa (n_i) | $n_i \log_{10} n_i$ |
|-----------------------------|---|---------------------|
| 1 | 1 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 0.0000 |
| 3 | 10 | 10.0000 |
| 4 | 2 | 0.6021 |
| 5 | 2 | 0.6021 |
| 6 | 2 | 0.6021 |
| 7 | 1 | 0.0000 |
| 8 | 2 | 0.6021 |
| 8 | 21 | 12.4082 |
| N log₁₀ N | 27.7666 | |
| C | 3.321928 | |
| Diversidad media | 2.43 | |
| Equidad | 0.88 | |

Tabla 6 La diversidad de especies (\bar{d}) características del Modelo de MacArthur's para varios números de especies hipotéticas s' .

| s' | \bar{d} | s' | \bar{d} |
|------|-----------|------|-----------|
| 1 | 0.0000 | 36 | 4.6032 |
| 2 | 0.8113 | 37 | 4.6417 |
| 3 | 1.2997 | 38 | 4.6792 |
| 4 | 1.6556 | 39 | 4.7157 |
| 5 | 1.9374 | 40 | 4.7513 |
| 6 | 2.1712 | 41 | 4.7861 |
| 7 | 2.3714 | 42 | 4.8200 |
| 8 | 2.5465 | 43 | 4.8532 |
| 9 | 2.7022 | 44 | 4.8856 |
| 10 | 2.8425 | 45 | 4.9173 |
| 11 | 2.9701 | 46 | 4.9483 |
| 12 | 3.0872 | 47 | 4.9787 |
| 13 | 3.1954 | 48 | 5.0084 |
| 14 | 3.2960 | 49 | 5.0375 |
| 15 | 3.3899 | 50 | 5.0661 |
| 16 | 3.4780 | 51 | 5.0941 |
| 17 | 3.5611 | 52 | 5.1215 |
| 18 | 3.6395 | 53 | 5.1485 |
| 19 | 3.7139 | 54 | 5.1749 |
| 20 | 3.7846 | 55 | 5.2009 |
| 21 | 3.8520 | 56 | 5.2264 |
| 22 | 3.9163 | 57 | 5.2515 |
| 23 | 3.9779 | 58 | 5.2761 |
| 24 | 4.0369 | 59 | 5.3004 |
| 25 | 4.0937 | 60 | 5.3242 |
| 26 | 4.1482 | 61 | 5.3476 |
| 27 | 4.2008 | 62 | 5.3707 |
| 28 | 4.2515 | 63 | 5.3934 |
| 29 | 4.3004 | 64 | 5.4157 |
| 30 | 4.3478 | 65 | 5.4378 |
| 31 | 4.3936 | 66 | 5.4594 |
| 32 | 4.4381 | 67 | 5.4808 |
| 33 | 4.4812 | 68 | 5.5018 |
| 34 | 4.5230 | 69 | 5.5226 |
| 35 | 4.5637 | 70 | 5.5430 |

* Los datos de esta tabla son reproducidos con permiso de Lloyd y Ghelardi

Tabla 7 Listado de taxa de macro-invertebrados bentónicos encontrados en los sitios de estudio

| Grupos Taxonómicos | Taxa |
|---------------------------|---|
| Phyllum Nematoda | Género n.i |
| Phyllum Mollusca | |
| Clase Pelecypoda | Genero n.i |
| Clase Gastropoda | Genero n.i |
| Phyllum Annelida | |
| Clase Hirudinea | |
| Fam. Glossiphonidae | Glossiphonia sp Placobdella sp. |
| Clase Oligochaeta | |
| Fam. Naididae | Nais sp Pristina sp. |
| Fam. Tubificidae | Limnodrilus sp. |
| Phyllum Arthropoda | |
| Clase Insecta | |
| Orden Collembola | |
| Fam. Entomobryidae | Entomobrya sp |
| Fam. Isotomidae | <i>Agrenia sp</i> |
| Orden Trichoptera | Género n.i. |
| Fam. Hydrobiosidae | Atosyche sp |
| Fam. Hidropsichidae | Smicridea sp Género n.i. Macronema sp |
| Fam. Hidroptillidae | Género n.i. |
| Fam. Polycentropodidae | Cirnellus sp Cernatina sp |

Continuación de la Tabla 7

| Grupos Taxonómicos | Taxa |
|---------------------------|---|
| Orden Ephemeroptera | |
| Fam. Ephemerellidae | Género n.i. Ephemerella sp |
| Fam. Tricorythidae | Leptohyphes sp Tricorytodes sp |
| Fam. Leptophlebiidae | Paraleptophlebia sp Thraulodes sp Traverella sp |
| Fam. Baetidae | Baetis sp Baetodes sp |
| Fam. Caenidae | Caenis sp |
| Orden Odonata | Género n.i |
| Fam. Coenagrionidae | Género n.i Acanthagrion sp Argia sp Telebasis sp |
| Fam. Aeshnidae | Aeshna sp |
| Fam. Lestidae | Lestes sp |
| Orden Coleoptera | |
| Fam. Elmidae | Hexacilloepus sp Macrelmis sp Oulimnius sp Lara sp Género n.i. Heterelmis sp |

Continuación de la Tabla 7

| Grupos Taxonómicos | Taxa |
|---------------------------|--|
| Orden Diptera | |
| Fam. Chironomidae | Género n.i. Stenochironomus sp Polypedilum sp. Pentaneura sp. Nanocladius sp. Tanytarsus sp. Zavrelimyia sp Dicrotendipes sp. Larsia sp. Rheotanytarsus sp. Nilotanypus sp Nilothauma sp. Micropelopia sp. Microtendipes sp. Macropelopia sp. Pedionomus sp. Microseptria sp. Phaenosectra sp Acricotopus sp. Coelotanypus sp |
| Fam. Ceratopogonidae | Alluaudomyia sp Probezzia Culicoides sp. Atrichopogon sp |
| Fam. Tipullidae | Limnophyla sp |
| Fam. Simuliidae | Simulium sp |

Continuación de la Tabla 7

| Grupos Taxonómicos | Taxa |
|---------------------------|-------------|
| Clase Malacostraca | |
| Orden Amphipoda | Genero ni |
| Orden Isopoda | Genero ni |
| Sub- Phylum Crustacea | |
| Clase Ostracoda | Genero ni |
| Sub- Phylum Chelicerata | |
| Clase Arácnida | |
| Sub- Orden Trombidiformes | |
| Hidracarina | Género n.i. |
| Clase Acari | Genero ni |

Tabla 8 Valores de Tolerancia del nivel de Polución para la Familia de los Arthropodos ¹ según Hilsenhoff

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia |
|---------------|------------------|----------------------------|
| Plecoptera | Capniidae | 1 |
| | Chloroperlidae | 1 |
| | Leuctridae | 0 |
| | Nemouridae | 2 |
| | Perlidae | 1 |
| | Perlodidae | 2 |
| | Pteronarylidae | 0 |
| | Taeniopterygidae | 2 |
| Ephemeroptera | Baetidae | 4 |
| | Baetiscidae | 3 |
| | Caenidae | 7 |
| | Ephemerellidae | 1 |
| | Ephemeridae | 4 |
| | Heptageniidae | 4 |
| | Leptophlebiidae | 2 |
| | Metretopodidae | 2 |
| | Oligoneuriidae | 2 |
| | Polymitarcyidae | 2 |
| | Potomanthidae | 4 |
| | Siphonuridae | 7 |
| | Tricorythidae | 4 |
| Odonata | Aeshnidae | 3 |
| | Calopterygidae | 5 |
| | Coenagrionidae | 9 |
| | Cordulegastridae | 3 |
| | Corduliidae | 5 |
| | Gomphidae | 1 |
| | Lestidae | 9 |
| | Libellulidae | 9 |
| | Macromiidae | 3 |

Continuación de la Tabla 8

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia |
|------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Trichoptera | Brachycentridae | 1 |
| | Glossosomatidae | 0 |
| | Helicopsychidae | 3 |
| | Hydropsychidae | 4 |
| | Hydroptilidae | 4 |
| | Lepidostomatidae | 1 |
| | Leptoceridae | 4 |
| | Limnephilidae | 4 |
| | Molannidae | 6 |
| | Odontoceridae | 0 |
| | Philopotamidae | 3 |
| | Phryganeidae | 4 |
| | Polycentropodidae | 6 |
| | Psychomyiidae | 2 |
| | Rhyacophilidae | 0 |
| Sericostomatidae | 3 | |
| Megaloptera | Corydalidae | 0 |
| | Sialidae | 4 |
| Lepidoptera | Pyralidae | 5 |
| Coleoptera | Dryopidae | 5 |
| | Elmidae | 4 |
| | Psephenidae | 4 |
| Diptera | Athericidae | 2 |
| | Blephariceridae | 0 |
| | Ceratopogonidae | 6 |
| | Blood Red Chironomidae | 8 |
| | Other (including pink) Chiron. | 6 |
| | Dolichopodidae | 4 |
| | Empididae | 6 |
| | Ephydriidae | 6 |
| | Psychodidae | 10 |
| | Simuliidae | 6 |
| | Muscidae | 6 |
| | Syrphidae | 10 |
| | Tabanidae | 6 |
| Tipulidae | 3 | |

Continuación de la Tabla 8

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia |
|--------------|----------------|----------------------------|
| Amphipoda | Gammaridae | 4 |
| | Talitridae | 8 |
| Isopoda | Asellidae | 8 |

¹ From Hilsenhoff, 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J.N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68.

Tabla 9 Obtención del Valor de HFBI para los macro-invertebrados bentónicos en cada sitio de estudio

Entrada Río San Juan

Muestreo N° 1 Noviembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Hydrobiosidae | 3 | 89 | 267 |
| | Hidropsychidae | 4 | 260 | 1040 |
| | Polycentropodidae | 6 | 159 | 954 |
| Ephemeroptera | Caenidae | 7 | 9 | 63 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 1255 | 7530 |
| Phylum Chelicerata | Hidracarina | 6 | 6 | 36 |
| Total individuos | | | 1778 | 9890 |
| HFBI | | | | 5.56 |

Entrada Río San Juan

Muestreo N° 2 Abril 2003

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|--------------|---------------------|----------------|--------------|
| Diptera | Chironomidae | 6 | 2010 | 12060 |
| Total individuos | | | 2010 | 12060 |
| HFBI | | | | 6.00 |

Salida del Río San Juan

Muestreo N° 1 Diciembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-----------------|---------------------|----------------|--------------|
| Arthropoda | Isotomidae | 5 | 10 | 50 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 11 | 66 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 2 | 12 |
| Total individuos | | | 23 | 128 |
| HFBI | | | | 5.57 |

Continuación de la Tabla 9

Río Melchora

Muestreo N° 1 Noviembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Polycentropodidae | 6 | 1 | 6 |
| Ephemeroptera | Ephemerellidae | 1 | 1 | 1 |
| | Tricorythidae | 4 | 1 | 4 |
| | Caenidae | 7 | 3 | 21 |
| Coleoptera | Elmidae | 4 | 2 | 8 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 14 | 84 |
| Total individuos | | | 22 | 124 |
| HFBI | | | | 5.64 |

Río Melchora

Muestreo N° 2 Abril 2003

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Género n.i | 5 | 1 | 5 |
| Hidropsychidae | Polycentropodidae | 6 | 1 | 6 |
| Ephemeroptera | Tricorythidae | 4 | 16 | 64 |
| | Leptophlebiidae | 2 | 1 | 2 |
| | Caenidae | 7 | 16 | 112 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 280 | 1680 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 62 | 372 |
| Isopoda | Género n.i | 8 | 1 | 8 |
| Hidracarina | Género n.i | 6 | 4 | 24 |
| Clase Acari | Género n.i | 5 | 2 | 10 |
| Total individuos | | | 384 | 2283 |
| HFBI | | | | 5.95 |

Continuación de la tabla 9

Río Boca de Sábalos

Muestreo N° 1 Noviembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|--------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Género n.i | 5 | 2 | 10 |
| Coleoptera | Elmidae | 4 | 1 | 4 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 11 | 66 |
| Total individuos | | | 14 | 80 |
| HFBI | | | | 5.71 |

Río Boca de Sábalos

Muestreo N° 2 Abril 2003

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Arthropoda | Polycentropodidae | 6 | 18 | 108 |
| Ephemeroptera | Tricorythidae | 4 | 8 | 32 |
| | Baetidae | 4 | 1 | 4 |
| | Caenidae | 7 | 5 | 35 |
| Coleoptera | Elmidae | 4 | 1 | 4 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 165 | 990 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 14 | 84 |
| Clase Ostracoda | Género n.i | 7 | 3 | 21 |
| Hidracarina | Género n.i | 6 | 1 | 6 |
| Total individuos | | | 216 | 1284 |
| HFBI | | | | 5.94 |

Continuación de la Tabla 9

Río Santa Cruz

Muestreo N° 1 Noviembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Hidropsychidae | 4 | 3 | 12 |
| | Polycentropodidae | 6 | 4 | 24 |
| Ephemeroptera | Tricorythidae | 4 | 2 | 8 |
| | Leptophlebiidae | 2 | 1 | 2 |
| | Caenidae | 7 | 1 | 7 |
| | Coenagrionidae | 9 | 1 | 9 |
| | Elmidae | 4 | 1 | 4 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 12 | 72 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 1 | 6 |
| Total individuos | | | 26 | 144 |
| HFBI | | | | 5.54 |

Río Santa Cruz

Muestreo N° 2 Abril 2003

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Polycentropodidae | 6 | 18 | 108 |
| Ephemeroptera | Tricorythidae | 4 | 21 | 84 |
| | Leptophlebiidae | 2 | 1 | 2 |
| | Caenidae | 7 | 4 | 28 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 387 | 2322 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 2 | 12 |
| Total individuos | | | 433 | 2556 |
| HFBI | | | | 5.90 |

Continuación de la Tabla 9

Río Machado

Muestreo N° 1 Diciembre 2002

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-----------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Hidropsychidae | 4 | 1 | 4 |
| Ephemeroptera | Género n.i | 5 | 5 | 25 |
| | Leptophlebiidae | 2 | 3 | 6 |
| Odonata | Coenagrionidae | 9 | 4 | 36 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 251 | 1506 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 6 | 36 |
| Hidracarina | Género n.i | 6 | 5 | 30 |
| Total individuos | | | 275 | 1643 |
| HFBI | | | | 5.97 |

Río Machado

Muestreo N° 2 Junio 2003

| Orden | Familia | Valor de Tolerancia | N ° individuos | VT * N° ind. |
|-------------------------|-----------------|---------------------|----------------|--------------|
| Trichoptera | Hidropsychidae | 4 | 1 | 4 |
| Coleoptera | Elmidae | 4 | 1 | 4 |
| Diptera | Chironomidae | 6 | 5 | 30 |
| | Ceratopogonidae | 6 | 2 | 12 |
| Total individuos | | | 9 | 50 |
| HFBI | | | | 5.56 |

Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para la ERSJ

Primer Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Entrada del Río San Juan (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Anelida, Placobdella | Anelida, Nais | Anelida, Nais | Artropoda, Polycentropus | Anelida, Limnodrilus |
| Anelida, Nais | Anelida, Limnodrilus | Artropoda, Atosyche | Anelida, Placobdella | Artropoda, Cirmellus |
| Artropoda, Atosyche | Artropoda, Atosyche | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Thraulodes |
| Artropoda, Smicridea | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Tricorytodes | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Acanthagrion |
| Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Cirmellus | Artropoda, Caenis | Artropoda, Travellera | Artropoda, Stenochironomus |
| Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Tricorytodes | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Baetis | Artropoda, Pentaneura |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Thraulodes | Artropoda, Procladius | Artropoda, Baetodes | Artropoda, Nanocladius |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Caenis | Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Dicrotendipes |
| Artropoda, Travellera | Artropoda, Acanthagrion | Artropoda, Chriptochironomus | Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Culicoides |
| Artropoda, Bateéis | Artropoda, Stenochironomus | Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, Oulimnis | 9 |
| Artropoda, Baetodes | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Lara | |
| Artropoda, Caenis | Artropoda, Procladius | Hidracarina, Genero n.i. | Artropoda, Elmidae, n.i. | |
| Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Goeldichironomus | 12 | Artropoda, Xenochironomus | |
| Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Chriptochironomus | | Artropoda, Zavrelimya | |
| Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Pentaneura | | Artropoda, Larsia | |
| Artropoda, Lara | Artropoda, Nanocladius | | Artropoda, Rheotanytarsus | |
| Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Tanytarsus | | Artropoda, Nilothauma | |
| Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Dicrotendipes | | 17 | |
| Artropoda, Procladius | Artropoda, Probezzia | | | |
| Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Culicoides | | | |

Diagnóstico físico –químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 10

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|--|------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Chriptochironomus Hidracarina, Genero n.i. | | | | |
| Artropoda, Xenochironomus | 21 | | | |
| Artropoda, Tanytarsus | | | | |
| Artropoda, Zavreliomya | | | | |
| Artropoda, Larissa | Coeficiente de Jaccard | 0.32 | | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | Índice de similitud | 0.48 | | |
| Artropoda, Nilothauma | Índice de disimilitud | 0.52 | | |
| Artropoda, Probezzia | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |

29

Continuación de la Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para el Río Sábalos

Primer Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río Sábalos (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Anelida, Placobdella | Nematoda n.i | Anelida, Placobdella | Anelida, Nais | Nematoda n.i |
| Anelida, Nais | Anelida, Placobdella sp | Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Atosyche | Anelida, pristina sp |
| Artropoda, Atosyche | Anelida, pristina sp | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Smicridea | Anelida, Limnodrilus |
| Artropoda, Smicridea | Anelida, Limnodrilus | Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, n.i |
| Artropoda, Polycentropus | Artropoda, n.i | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Acanthagrion |
| Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Xenochironomus | Artropoda, Travellera | Artropoda, Pentaneura |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, Baetis | Artropoda, Micropelopia |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Acanthagrion | Artropoda, Rheotanytarsus | Artropoda, Baetodes | Artropoda, Microtendipes |
| Artropoda, Travellera | Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Caenis | Artropoda, Macropelopia |
| Artropoda, Baetis | Artropoda, Polypedilum | 9 | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Pedionomus |
| Artropoda, Baetodes | Artropoda, Xenochironomus | | Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Microsepra |
| Artropoda, Caenis | Artropoda, Pentaneura | | Artropoda, Lara | 11 |
| Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Tanytarsus | | Artropoda, Elmidae, n.i. | |
| Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Rheotanytarsus | | Artropoda, Procladius | |
| Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Micropelopia | | Artropoda, Goeldichironomus | |
| Artropoda, Lara | Artropoda, Microtendipes | | Artropoda, Chriptochironomus | |
| Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Macropelopia | | Artropoda, Zavrelimya | |
| Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Pedionomus | | Artropoda, Larsia | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 10

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Procladius | Artropoda, Microseptria | | Artropoda, Nilothauma | |
| Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Probezzia | | Hidracarina, Genero n.i. | |
| Artropoda, Chriptochironomus | 20 | | 20 | |
| Artropoda, Xenochironomus | | | | |
| Artropoda, Tanytarsus | | | | |
| Artropoda, Zavreliomya | | | | |
| Artropoda, Larsia | Coefficiente de Jaccard | 0.23 | | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | Indice de similitud | 0.37 | | |
| Artropoda, Nilothauma | Indice de disimilitud | 0.63 | | |
| Artropoda, Probezzia | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |

Continuación de la Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para el Río Santa Cruz

Primer Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río SantaCruz (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Artropoda, Atosyche | Anelida, Limnodrilus |
| Anelida, Nais | Anelida, Nais | Anelida, Nais | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, n.i. |
| Artropoda, Atosyche | Anelida, Limnodrilus | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Baetis | Artropoda, LeptoHyphes |
| Artropoda, Smicridea | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Baetodes | Artropoda, Thraulodes |
| Artropoda, Polycentropus | Artropoda, n.i. | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, n.i. |
| Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Acanthagrion |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Travellera | Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Telebasis |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, LeptoHyphes | Artropoda, Caenis | Artropoda, Lara | Artropoda, Aeshna |
| Artropoda, Travellera | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Lestes |
| Artropoda, Baetis | Artropoda, Thraulodes | Artropoda, Procladius | Artropoda, Xenochironomus | Artropoda, Macrelmis |
| Artropoda, Baetodes | Artropoda, Travellera | Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, n.i. |
| Artropoda, Caenis | Artropoda, Caenis | Artropoda, Chriptochironomus | Artropoda, Zavrelimyia | Artropoda, Nanocladius |
| Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, n.i. | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Larsia | Artropoda, Tanytarsus |
| Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Acanthagrion | 13 | Artropoda, Rheotanytarsus | Artropoda, Zavrelimyia |
| Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Telebasis | | Artropoda, Nilothauma | Artropoda, Atrichopogon |
| Artropoda, Lara | Artropoda, Aeshna | | Hidracarina, Genero n.i. | 15 |
| Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Lestes | | 16 | |
| Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Macrelmis | | | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 10

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Procladius | Artropoda, n.i. | | | |
| Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Polypedilum | | | |
| Artropoda, Chriptochironomus | Artropoda, Procladius | | | |
| Artropoda, Xenochironomus | Artropoda, Goeldichironomus | | | |
| Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, Chriptochironomus | | | |
| Artropoda, Zavreliomya | Artropoda, Nanocladius | | | |
| Artropoda, Larsia | Artropoda, Tanytarsus | | | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | Artropoda, Zavreliomyia | | | |
| Artropoda, Nilothauma | Artropoda, Probezzia | | | |
| Artropoda, Probezzia | Artropoda, Atrichopogon | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | 28 | | | |
| 29 | | | | |
| | Coeficiente de Jaccard | 0.30 | | |
| | Indice de similitud | 0.46 | | |
| | Indice de disimilitud | 0.54 | | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para el Río Machado

Primer Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río Machado (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|--|--|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Anelida, Nais | Artropoda, Smicridea |
| Anelida, Nais | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Atosyche | Artropoda, n.i |
| Artropoda, Atosyche | Artropoda, n.i | Artropoda, Caenis | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Paraleptophlebia |
| Artropoda, Smicridea | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Acanthagrion |
| Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Paraleptophlebia | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Chironomidae n.i |
| Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Caenis | Artropoda, Procladius | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Nanocladius |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Chriptochironomus | Artropoda, Travellera | Artropoda, Macropelopia |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Acanthagrion | Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, Baetis | Artropoda, Microseptria |
| Artropoda, Travellera | Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Rheotanytarsus | Artropoda, Baetodes | Artropoda, Acricotopus |
| Artropoda, Baetis | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Culicoides |
| Artropoda, Baetodes | Artropoda, Procladius | Hidracarina, Genero n.i. | Artropoda, Oulimnis | 10 |
| Artropoda, Caenis | Artropoda, Chriptochironomus | 11 | Artropoda, Lara | |
| Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Nanocladius | | Artropoda, Elmidae, n.i. | |
| Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Tanytarsus | | Artropoda, Goeldichironomus | |
| Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Rheotanytarsus | | Artropoda, Xenochironomus | |
| Artropoda, Lara | Artropoda, Macropelopia | | Artropoda, Zavrelimya | |
| Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Microseptria | | Artropoda, Larsia | |
| Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Acricotopus | | Artropoda, Nilothauma | |
| Artropoda, Procladius | Artropoda, Probezzia | | 18 | |

Continuación de la Tabla 10

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Goeldichironomus | Artropoda, Culicoides | | | |
| Artropoda, Chriptochironomus | Hidracarina, Genero n.i. | | | |
| Artropoda, Xenochironomus | 21 | | | |
| Artropoda, Tanytarsus | | | | |
| Artropoda, Zavreliomya | | | | |
| Artropoda, Larsia | Coeficiente de Jaccard | 0.28 | | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | Indice de similitud | 0.44 | | |
| Artropoda, Nilothauma | Indice de disimilitud | 0.56 | | |
| Artropoda, Probezzia | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |

29

Continuación de la Tabla 10 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para la Salida RSJ

Primer Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Salida del RSJ (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Anelida, Placobdella | Nematoda n.i | Anelida, Nais | Anelida, Placobdella | Nematoda n.i |
| Anelida, Nais | Anelida, Nais | Artropoda, Lara | Artropoda, Atosyche | Artropoda, Agrenia |
| Artropoda, Atosyche | Artropoda, Agrenia | Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Smicridea | Artropoda, Trichoptera n.i |
| Artropoda, Smicridea | Artropoda, Trichoptera n.i | Artropoda, Chriptochironomus | Artropoda, Polycentropus | Artropoda n.i |
| Artropoda, Polycentropus | Artropoda, Lara | Artropoda, Tanytarsus | Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda, Chironomidae n.i |
| Artropoda, Ephemeroptera, n.i. | Artropoda n.i | Artropoda, Rheotanytarsus | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda n.i |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Chironomidae n.i |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Polypedilum | 7 | Artropoda, Travellera | Artropoda, Microtendipes |
| Artropoda, Travellera | Artropoda, Chriptochironomus | | Artropoda, Baetis | Artropoda, Microsepra |
| Artropoda, Baetis | Artropoda, Tanytarsus | | Artropoda, Baetodes | Artropoda, Phaenosectra |
| Artropoda, Baetodes | Artropoda n.i | | Artropoda, Caenis | Artropoda, Acricotopus |
| Artropoda, Caenis | Artropoda, Chironomidae n.i | | Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Culicoides |
| Artropoda, Coenagrionidae, n.i. | Artropoda, Microtendipes | | Artropoda, Macrelmis | 12 |
| Artropoda, Macrelmis | Artropoda, Microsepra | | Artropoda, Oulimnis | |
| Artropoda, Oulimnis | Artropoda, Phaenosectra | | Artropoda, Elmidae, n.i. | |
| Artropoda, Lara | Artropoda, Acricotopus | | Artropoda, Procladius | |
| Artropoda, Elmidae, n.i. | Artropoda, Probezzia | | Artropoda, Goeldichironomus | |
| Artropoda, Polypedilum | Artropoda, Culicoides | | Artropoda, Xenochironomus | |
| Artropoda, Procladius | 18 | | Artropoda, Zavrelimyia | |

Continuación de la tabla 10

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Goeldichironomus | | | Artropoda, Larsia | |
| Artropoda, Chriptochironomus | | | Artropoda, Nilothauma | |
| Artropoda, Xenochironomus | | | Hidracarina, Genero n.i. | |
| Artropoda, Tanytarsus | | | | 22 |
| Artropoda, Zavreliomya | | | | |
| Artropoda, Larsia | Coeficiente de Jaccard | 0.17 | | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | Indice de similitud | 0.30 | | |
| Artropoda, Nilothauma | Indice de disimilitud | 0.70 | | |
| Artropoda, Probezzia | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |

Tabla 11 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para la ERSJ

Segundo Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Entrada del Río San Juan (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Oligochaeta, Nais sp | Annelida Limnodrilus sp |
| Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Anelida, Placobdella | Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Trichoptera g.n.i |
| Oligochaeta, Nais sp | Annelida Limnodrilus sp | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, g.n.i. | 2 |
| Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Trichoptera g.n.i | Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Cernatina | |
| Artropoda, g.n.i. | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | |
| Artropoda, Cernatina | Artropoda, Chironomus sp | 5 | Artropoda, Ephemerella sp | |
| Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Artropoda, Probezzia | | Artropoda, Tricorytodes sp | |
| Artropoda, Ephemerella sp | 7 | | Artropoda, Paraleptophebia sp | |
| Artropoda, Tricorytodes sp | | | Artropoda, Traverella sp | |
| Artropoda, Paraleptophebia sp | | | Artropoda, Caenis sp | |
| Artropoda, Traverella sp | | | Artropoda, Acanthagrion sp | |
| Artropoda, Caenis sp | | | Artropoda, Argia sp | |
| Artropoda, Acanthagrion sp | | | Artropoda, Chironomidae n.i | |
| Artropoda, Argia sp | | | Artropoda, Polypedilum sp | |
| Artropoda, Chironomidae n.i | | | Artropoda, Nanocladius sp | |
| Artropoda, Polypedilum sp | | | Artropoda, Rheotanytarsus sp | |
| Artropoda, Procladius sp | | | Artropoda, Nilotanytus sp | |
| Artropoda, Chironomus sp | | | Artropoda, Microsepra sp | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 11

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Nanocladius sp | | | Artropoda, culicoides sp | |
| Artropoda, Rheotanytarsus sp | | | Artropoda, Limnophyla sp | |
| Artropoda, Nilotanypus sp | | | Artropoda, Simulium sp | |
| Artropoda, Microseptria sp | | | Isopoda g.n.i | |
| Artropoda, Probezzia | | | Hidracarina, Genero n.i. | |
| Artropoda, culicoides sp | | | | 23 |
| Artropoda, Limnophyla sp | | | | |
| Artropoda, Simulium sp | | | | |
| Isopoda g.n.i | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |
| 28 | | | | |
| | Coeficiente de Jaccard | 0.17 | | |
| | Indice de similitud | 0.29 | | |
| | Indice de disimilitud | 0.71 | | |

Continuación de la Tabla 11 Datos para el cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para el Río Boca de Sábalo

Segundo Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río Boca de Sabalos (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Artropoda, g.n.i. | Mollusca g.n.i |
| Anelida, Placobdella sp | Mollusca g.n.i | Anelida, Placobdella sp | Artropoda, Cernatina | Mollusca Gastropoda g.n.i |
| Oligochaeta, Nais sp | Mollusca Gastropoda g.n.i | Oligochaeta, Nais sp | Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Anelida, Glossiphonia sp |
| Artropoda, Entomobrya sp | Anelida, Glossiphonia sp | Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Ephemerella sp | Annelida Limnodrilus |
| Artropoda, g.n.i. | Anelida, Placobdella sp | Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Cernatina sp |
| Artropoda, Cernatina | Oligochaeta, Nais sp | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Ephemeroptera T. |
| Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Annelida Limnodrilus | Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Baetis sp |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Rheotanytarsus sp | Artropoda, Caenis sp | Artropoda, Caenis sp |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Cernatina sp | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, Hexacilloepus sp |
| Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Ephemeroptera T. | Artropoda, culicoides sp | Artropoda, Argia sp | Artropoda, Xenoichironomus sp |
| Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Baetis sp | Hidracarina, Genero n.i. | Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Dicrotendipes sp |
| Artropoda, Caenis sp | Artropoda, Caenis sp | 11 | Artropoda, Nanocladius sp | Artropoda Amphipoda g.n.i |
| Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, Hexacilloepus sp | | Artropoda, Nilotanytus sp | Artropoda Ostracoda g.n.i |
| Artropoda, Argia sp | Artropoda, Polypedilum sp | | Artropoda, Microseptria sp | 13 |
| Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Procladius sp | | Artropoda, Limnophyla sp | |
| Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Chironomus sp | | Artropoda, Simulium sp | |
| Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Xenoichironomus sp | | Isopoda g.n.i | |
| Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Dicrotendipes sp | | 17 | |
| Artropoda, Nanocladius sp | Artropoda, Rheotanytarsus sp | | | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 11

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Rheotanytarsus sp | Artropoda, Probezzia | | | |
| Artropoda, Nilotanypus sp | Artropoda, culicoides sp | | | |
| Artropoda, Microsepra sp | Artropoda Amphipoda g.n.i | | | |
| Artropoda, Probezzia | Artropoda Ostracoda g.n.i | | | |
| Artropoda, culicoides sp | Hidracarina, Genero n.i. | | | |
| Artropoda, Limnophyla sp | 24 | | | |
| Artropoda, Simulium sp | | | | |
| Isopoda g.n.i | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |
| 28 | | | | |
| | Coeficiente de Jaccard | 0.27 | | |
| | Indice de similitud | 0.42 | | |
| | Indice de disimilitud | 0.58 | | |

Continuación de la Tabla 11 Datos del cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard en el Río Santa Cruz

Segundo Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río santa Cruz (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Artropoda, Entomobrya sp | Anelida, Limnodrilus sp |
| Anelida, Placobdella sp | Anelida, Placobdella sp | Anelida, Placobdella sp | Artropoda, g.n.i. | Artropoda, g.n.i |
| Oligochaeta, Nais sp | Oligochaeta, Nais sp | Oligochaeta, Nais sp | Artropoda,Cernatina | Artropoda,Cernatina sp |
| Artropoda, Entomobrya sp | Anelida, Limnodrilus sp | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Artropoda, g.n.i |
| Artropoda, g.n.i. | Artropoda, g.n.i | Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, g.n.i |
| Artropoda,Cernatina | Artropoda,Cernatina sp | Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Argia sp | Artropoda, Xenochironomus |
| Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Artropoda,Tricorytodes sp | Artropoda, Caenis sp | Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Dicrotendipes sp |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, Nilotanypus sp | Artropoda, Microtendipes sp |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, culicoides sp | Artropoda, Limnophyla sp |
| Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Caenis sp | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Limnophyla sp | 9 |
| Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Simulium sp | |
| Artropoda, Caenis sp | Artropoda, g.n.i | Artropoda, Nanocladius sp | Isopoda g.n.i | |
| Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, g.n.i | Artropoda, Rheotanytarsus sp | Hidracarina, Genero n.i. | |
| Artropoda, Argia sp | Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Microseptria sp | 13 | |
| Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Probezzia | | |
| Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Chironomus sp | 15 | | |
| Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Xenochironomus | | | |
| Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Nanocladius sp | | | |
| Artropoda, Nanocladius sp | Artropoda, Dicrotendipes sp | | | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 11

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Rheotanytarsus sp | Artropoda, Rheotanytarsus sp | | | |
| Artropoda, Nilotanytus sp | Artropoda, Microtendipes sp | | | |
| Artropoda, Microseptria sp | Artropoda, Microseptria sp | | | |
| Artropoda, Probezzia | Artropoda, Probezzia | | | |
| Artropoda, culicoides sp | Artropoda, Limnophyla sp | | | |
| Artropoda, Limnophyla sp | 24 | | | |
| Artropoda, Simulium sp | | | | |
| Isopoda g.n.i | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |
| 28 | | | | |
| | Coefficiente de Jaccard | 0.41 | | |
| | Indice de similitud | 0.58 | | |
| | Indice de disimilitud | 0.42 | | |

Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del Río San Juan

Continuación de la Tabla 11 Datos del cálculo del Coeficiente de Comunidad de Jaccard para el Río Machado
Segundo Muestreo: Sitio de Referencia: Río Melchora (A), Sitio de interés: Río Machado (B)

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Nematoda g.n.i | Anelida, Placobdella sp | Oligochaeta, Limnodrilus sp |
| Anelida, Placobdella sp | Oligochaeta, Nais sp | Oligochaeta, Nais sp | Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Macronema sp |
| Oligochaeta, Nais sp | Oligochaeta, Limnodrilus sp | Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, g.n.i. | Artropoda, Oulimnius g.n.i |
| Artropoda, Entomobrya sp | Artropoda, Macronema sp | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Cernatina | Artropoda, Heterelmis sp |
| Artropoda, g.n.i. | Artropoda, Oulimnius g.n.i | Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, Ephemeroptera g.n.i | Artropoda, Chironomidae g.n.i. |
| Artropoda, Cernatina | Artropoda, Heterelmis sp | Artropoda, Nanocladius sp | Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Coelotanypus sp |
| Artropoda, Ephemeroptera | Artropoda, Chironomidae g.n.i. | Artropoda, Rheotanytarsus sp | Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Alluaudomya sp |
| Artropoda, Ephemerella sp | Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Microseps sp | Artropoda, Paraleptophebia sp | Ostracoda g.n.i |
| Artropoda, Tricorytodes sp | Artropoda, Procladius sp | Artropoda, Probezzia | Artropoda, Traverella sp | 8 |
| Artropoda, Paraleptophebia sp | Artropoda, Chironomus sp | Artropoda, culicoides sp | Artropoda, Caenis sp | |
| Artropoda, Traverella sp | Artropoda, Nanocladius sp | 10 | Artropoda, Acanthagrion sp | |
| Artropoda, Caenis sp | Artropoda, Rheotanytarsus sp | | Artropoda, Argia sp | |
| Artropoda, Acanthagrion sp | Artropoda, Microseps sp | | Artropoda, Chironomidae n.i | |
| Artropoda, Argia sp | Artropoda, Coelotanypus sp | | Artropoda, Nilotanypus sp | |
| Artropoda, Chironomidae n.i | Artropoda, Alluaudomya sp | | Artropoda, Limnophyla sp | |
| Artropoda, Polypedilum sp | Artropoda, Probezzia | | Artropoda, Simulium sp | |
| Artropoda, Procladius sp | Artropoda, culicoides sp | | Isopoda g.n.i | |
| Artropoda, Chironomus sp | Ostracoda g.n.i | | Hidracarina, Genero n.i. | |

Continuación de la Tabla 11

| Especies en sitio A | Especies en sitio B | Especies en común | Especies en A pero no en B | Especies en B pero no en A |
|----------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Artropoda, Nanocladius sp | 18 | | 18 | |
| Artropoda, Rheotanytarsus | | | | |
| Artropoda, Nilotanypus sp | | | | |
| Artropoda, Microsepra sp | | | | |
| Artropoda, Probezzia | | | | |
| Artropoda, culicoides sp | | | | |
| Artropoda, Limnophyla sp | | | | |
| Artropoda, Simulium sp | | | | |
| Isopoda g.n.i | | | | |
| Hidracarina, Genero n.i. | | | | |
| 28 | | | | |
| | Coeficiente de Jaccard | 0.28 | | |
| | Indice de similitud | 0.71 | | |
| | Indice de disimilitud | 0.29 | | |

Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Entrada del Río San Juan

| Fecha | Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD (mg/l) | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|--------------|---|--|---------------------------------------|---|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| 14/11/2002 | 150.20 | 25.0 | 17.30 | 7.37 | 8.30 | 52.50 | 17.23 | 12.18 | 0.97 | 2.32 | 4.86 | 10.99 |
| 28/04/2003 | 255.00 | 10.0 | 32.40 | 6.00 | 9.38 | 86.10 | 14.87 | 21.68 | 8.07 | 4.87 | 9.04 | 20.98 |
| 27/06/2003 | 79.60 | 75.0 | 18.40 | 2.29 | 7.07 | 27.43 | 8.02 | 3.28 | 1.94 | 1.41 | 4.04 | 3.34 |
| 30/07/2003 | 122.00 | 40.0 | 15.52 | 2.87 | 7.60 | 47.34 | 9.16 | 9.50 | 2.90 | 1.71 | 4.74 | 8.97 |
| | FI (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO₃ mg/l | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 14/11/2002 | 0.16 | 13.60 | 0.011 | 0.03 | 0.139 | 0.549 | 0.001 | 0.00008 | 0.002 | 0.002 | 0.518 | 0.047 |
| 28/04/2003 | 0.29 | 42.00 | 0.128 | 0.03 | 0.402 | 0.402 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.007 | 0.253 | 0.045 |
| 27/06/2003 | 0.07 | 20.75 | 0.051 | 0.19 | 0.784 | 0.798 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.006 | 1.83 | 0.105 |
| 30/07/2003 | 0.15 | 13.00 | 0.024 | 0.24 | 0.537 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 14/11/2002 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 28/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 30/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Río Melchora

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD (mg/l) | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| 14/11/2002 | 167.80 | 50.0 | 40.20 | 5.73 | 8.30 | 78.25 | 18.04 | 8.46 | 5.35 | 1.21 | 2.16 | 4.84 |
| 27/04/2003 | 358.00 | 20.0 | 14.83 | 5.6 | 8.22 | 165.90 | 35.23 | 19.92 | 13.3 | 3.19 | 1.34 | 13.75 |
| 25/06/2003 | 113.00 | 50.0 | 42.30 | 6.65 | 7.62 | 46.41 | 10.21 | 5.04 | 4.47 | 1.81 | 2.33 | 3.52 |
| 30/07/2003 | 178.00 | 25.0 | 21.40 | 5.74 | 7.00 | 97.32 | 18.43 | 8.92 | 5.68 | 1.22 | 2.52 | 6.06 |
| | Fl (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 14/11/2002 | 0.05 | 20.24 | 0.038 | 0.32 | 0.155 | 0.400 | 0.001 | 0.00008 | 0.001 | 0.002 | 0.863 | 0.102 |
| 27/04/2003 | 0.14 | 19.10 | 0.093 | 0.025 | 0.392 | 0.175 | 0.001 | 0.0005 | 0.003 | 0.004 | 0.253 | 0.179 |
| 25/06/2003 | 0.015 | 29.00 | 0.155 | 1.62 | 0.795 | 0.623 | 0.001 | 0.00008 | 0.003 | 0.004 | 0.253 | 0.058 |
| 30/07/2003 | 0.08 | 13.00 | 0.032 | 0.62 | 0.463 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 14/11/2002 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 25/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 30/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Río Boca de Sábalos

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD mg/l | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| 15/11/2002 | 105.90 | 40.0 | 27.60 | 5.94 | 8.60 | 46.20 | 10.42 | 6.53 | 3.4 | 0.8 | 1.58 | 3.53 |
| 27/04/2003 | 257.00 | 15.0 | 10.57 | 5.30 | 8.62 | 92.40 | 18.40 | 19.4 | 7.84 | 4.28 | 7.75 | 17.85 |
| 27/06/2003 | 98.00 | 30.0 | 38.40 | 5.80 | 7.14 | 23.20 | 8.41 | 4.48 | 2.67 | 1.61 | 2.19 | 4.78 |
| 30/07/2003 | 97.00 | 30.0 | 32.90 | 6.77 | 6.47 | 42.08 | 9.96 | 5.33 | 1.93 | 1.32 | 1.68 | 4.34 |
| | Fl (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 15/11/2002 | 0.03 | 18.20 | 0.022 | 0.44 | 0.213 | 3.414 | 0.001 | 0.00008 | 0.003 | 0.004 | 1.055 | 0.02 |
| 27/04/2003 | 0.24 | 15.60 | 0.099 | 0.025 | 0.45 | 10.956 | 0.001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.005 | 0.253 | 0.047 |
| 27/06/2003 | 0.015 | 18.60 | 0.02 | 12.43 | 3.723 | 4.152 | 0.001 | 0.00008 | 0.0009 | 0.007 | 0.253 | 0.02 |
| 30/07/2003 | 0.015 | 13.00 | 0.018 | 2.48 | 0.921 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 15/11/2002 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.056 | | | | | | | | |
| 30/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Río Boca de Sábalos

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD mg/l | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO ₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|------------|------------------|---------------------|---------------|---------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|
| 15/11/2002 | 105.90 | 40.0 | 27.60 | 5.94 | 8.60 | 46.20 | 10.42 | 6.53 | 3.4 | 0.8 | 1.58 | 3.53 |
| 27/04/2003 | 257.00 | 15.0 | 10.57 | 5.30 | 8.62 | 92.40 | 18.40 | 19.4 | 7.84 | 4.28 | 7.75 | 17.85 |
| 27/06/2003 | 98.00 | 30.0 | 38.40 | 5.80 | 7.14 | 23.20 | 8.41 | 4.48 | 2.67 | 1.61 | 2.19 | 4.78 |
| 30/07/2003 | 97.00 | 30.0 | 32.90 | 6.77 | 6.47 | 42.08 | 9.96 | 5.33 | 1.93 | 1.32 | 1.68 | 4.34 |
| | FI (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO ₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 15/11/2002 | 0.03 | 18.20 | 0.022 | 0.44 | 0.213 | 3.414 | 0.001 | 0.00008 | 0.003 | 0.004 | 1.055 | 0.02 |
| 27/04/2003 | 0.24 | 15.60 | 0.099 | 0.025 | 0.45 | 10.956 | 0.001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.005 | 0.253 | 0.047 |
| 27/06/2003 | 0.015 | 18.60 | 0.02 | 12.43 | 3.723 | 4.152 | 0.001 | 0.00008 | 0.0009 | 0.007 | 0.253 | 0.02 |
| 30/07/2003 | 0.015 | 13.00 | 0.018 | 2.48 | 0.921 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 15/11/2002 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.056 | | | | | | | | |
| 30/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Río Santa Cruz

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD (mg/l) | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO ₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|------------|------------------|---------------------|---------------|---------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|
| 15/11/2002 | 75.90 | 40.0 | 54.30 | 7.17 | 6.80 | 29.95 | 8.22 | 4.71 | 1.22 | 0.8 | 1.52 | 2.60 |
| 25/04/2003 | 179.30 | 15.0 | 4.38 | 5.80 | 8.19 | 82.95 | 19.57 | 10.06 | 4.75 | 2.5 | 1.75 | 5.51 |
| 27/06/2003 | 89.40 | 50.0 | 95.20 | 6.40 | 6.75 | 21.19 | 8.42 | 4.40 | 1.68 | 1.71 | 1.95 | 4.03 |
| 30/07/2003 | 82.00 | 15.0 | 16.98 | 6.97 | 7.45 | 36.82 | 7.96 | 5.23 | 1.93 | 1.32 | 1.57 | 4.13 |
| | FI (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO ₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 15/11/2002 | 0.03 | 31.88 | 0.046 | 0.47 | 0.210 | 0.543 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.006 | 0.736 | 0.02 |
| 25/04/2003 | 0.12 | 5.50 | 0.022 | 0.025 | 0.106 | 0.831 | 0.001 | 0.0002 | 0.0004 | 0.029 | 0.253 | 0.064 |
| 27/06/2003 | 0.015 | 73.00 | 0.08 | 11.93 | 3.384 | 13.851 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.002 | 0.253 | 0.044 |
| 30/07/2003 | 0.08 | 11.00 | 0.024 | 1.87 | 0.664 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 15/11/2002 | 0.0025 | 0.0092 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 25/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 30/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Río Machado

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD mg/l | pH (mg/l) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| 13/12/2002 | 47.50 | 10.0 | 6.04 | 6.40 | 7.36 | 15.75 | 4.08 | 3.15 | 1.36 | 0.9 | 0.87 | 3.83 |
| 21/06/2003 | 35.80 | 25.0 | 24.20 | 6.20 | 6.71 | 13.25 | 2.81 | 2.63 | 0.48 | 0.81 | 0.70 | 1.72 |
| 29/07/2003 | 42.20 | 10.0 | 9.26 | 6.36 | 6.32 | 16.20 | 1.59 | 3.24 | 1.69 | 0.82 | 1.21 | 2.95 |
| | Fl (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 13/12/2002 | 0.06 | 4.20 | 0.003 | 0.56 | 0.159 | 0.201 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.008 | 0.307 | 0.02 |
| 21/06/2003 | 0.015 | 18.60 | 0.003 | 0.24 | 0.633 | 0.611 | 0.001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.002 | 0.253 | 0.02 |
| 29/07/2003 | 0.05 | 8.00 | 0.003 | 0.23 | 0.264 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 13/12/2002 | | | | | | | | | | | | |
| 21/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.27 | | | | | | | | |
| 29/07/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |

Continuación de la Tabla 12 Parámetros utilizados para la obtención del Índice de Calidad de Agua CWQI 1.0

Punto de muestreo: Salida del Río San Juan

| Fecha | Cond. (uS/cm) | Color (UCV) | Turb (UNT) | OD (mg/l) | pH (Unds) | Alcal. (mg/l) | Ca (mg/l) | Na (mg/l) | Mg (mg/l) | K (mg/l) | SO₄ (mg/l) | Cl (mg/l) |
|--------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| 12/12/2002 | 160.60 | 5.0 | 38.40 | 6.40 | 6.77 | 13.15 | 14.03 | 5.22 | 4.45 | 2.00 | 40.88 | 6.62 |
| 24/04/2003 | 202.00 | 5.0 | 149.00 | 7.60 | 8.05 | 11.55 | 12.91 | 6.17 | 9.75 | 2.50 | 58.51 | 7.57 |
| 27/06/2003 | 122.50 | 20.0 | 54.00 | 6.40 | 7.02 | 19.80 | 10.42 | 4.78 | 3.48 | 1.51 | 24.05 | 4.79 |
| 29/07/2003 | 110.00 | 5.0 | 36.60 | 6.36 | 5.72 | 13.50 | 11.35 | 4.12 | 1.93 | 1.62 | 26.84 | 5.15 |
| | Fl (mg/l) | Sol.susp. (mg/l) | P (mg/l) | NO₃ (mg/l) | N (mg/l) | Al (mg/l) | As (mg/l) | Cd (mg/l) | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) |
| 12/12/2002 | 0.38 | 47.0 | 0.12 | 0.65 | 0.239 | 0.180 | 0.001 | 0.0003 | 0.009 | 0.008 | 2.082 | 0.103 |
| 24/04/2003 | 0.37 | 218.9 | 0.266 | 0.025 | 0.331 | 0.336 | 0.001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.010 | 1.400 | 0.076 |
| 27/06/2003 | 0.16 | 50.6 | 0.095 | 1.79 | 1.193 | 7.905 | 0.001 | 0.00008 | 0.0004 | 0.021 | 1.44 | 0.108 |
| 29/07/2003 | 0.27 | 33.0 | 0.072 | 0.96 | 0.532 | | | | | | | |
| | Ni (mg/l) | Pb (mg/l) | Se (mg/l) | Zn (mg/l) | | | | | | | | |
| 12/12/2002 | 0.030 | 0.0023 | 0.0022 | 0.099 | | | | | | | | |
| 24/04/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 27/06/2003 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0022 | 0.02 | | | | | | | | |
| 29/07/2003 | | | | | | | | | | | | |

Anexo 2. Mapas de la Cuenca del Río San Juan

Índice

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 27 | Uso actual de la tierra de la Sub- cuenca del Río Sábalos..... | 130 |
| Figura 28 | Uso actual de la tierra de la Sub- cuenca del Río Bartola y Sarnoso..... | 131 |

Figura 27 Uso actual de la tierra de la Sub-cuenca del Río Sábalos

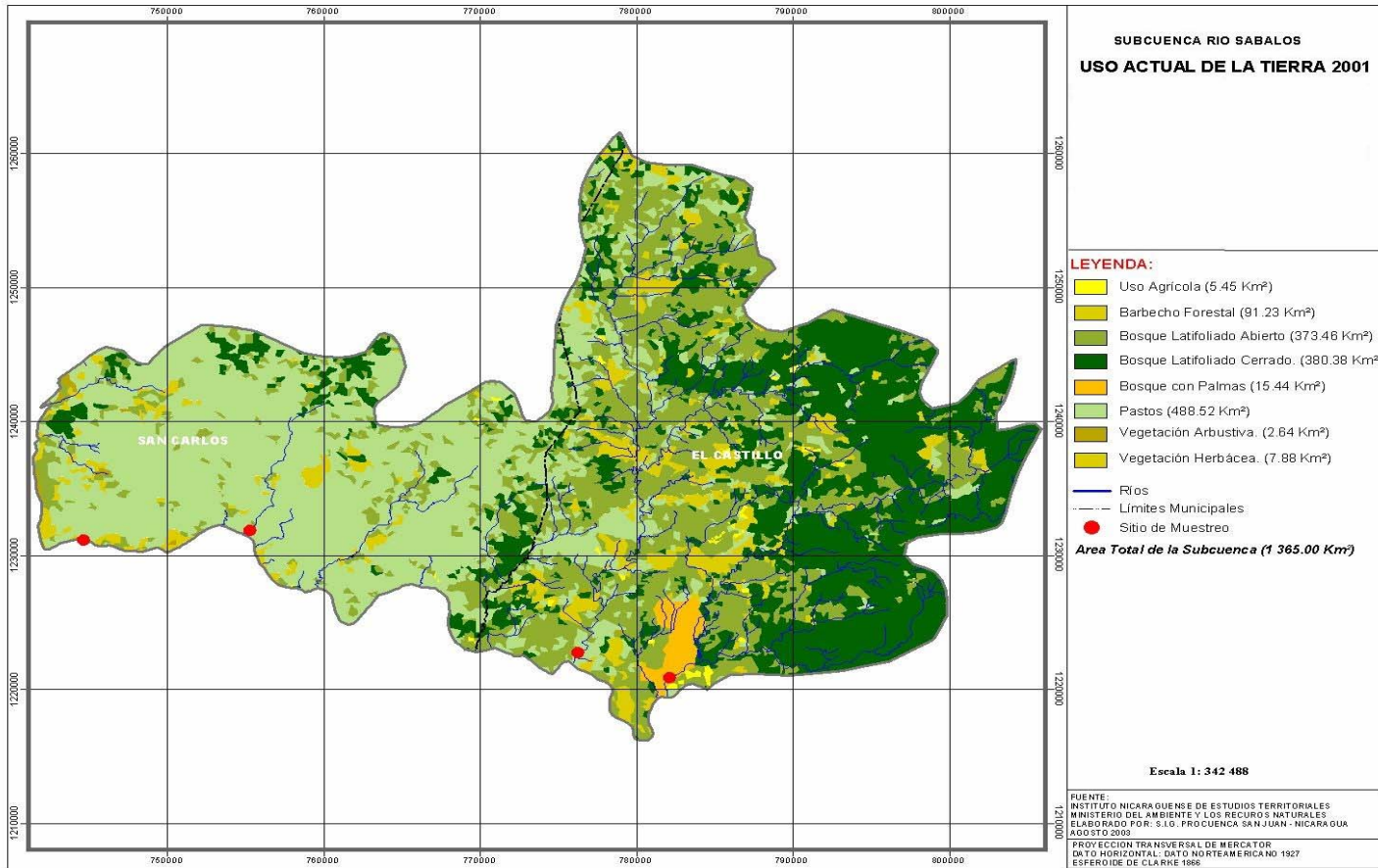


Figura 28 Uso actual de la tierra de la Sub cuenca del Río Bartola y Sarnoso

