

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela de Biología

Uso de los insectos acuáticos como bioindicadores
de la calidad de agua de ríos utilizados por
beneficios de café en la provincia de
Alajuela, Costa Rica.

Proyecto de Tesis para optar por el grado de Licenciado
en Biología con énfasis en Recursos Acuáticos

Por: *Esteban*

Leonel Fernández Quirós

Escuela Universitaria Rodrigo Facio

1^{er} Semestre 2002

Fernández, L. 2002. **Uso de los insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad de agua de ríos utilizados por beneficios de café.** Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 69 p.

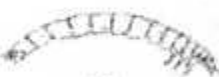
Directora de tesis: MSc. Monika Springer

Palabras claves: insectos acuáticos, bioindicadores, contaminación orgánica, *Chironomus*, beneficios de café.

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es valorar mediante el uso de insectos acuáticos como bioindicadores el efecto de los vertidos de beneficios de café en algunos ríos de Alajuela. El trabajo se realizó de Octubre 2000 a Marzo del 2001 en los tres momentos más importantes de la cosecha: inicio, pico y fin. Se trabajó en los beneficios: Coopecafira R.L. en San Ramón que descarga en el río Grande y Rolando Rojas y Cía. S.A. y CoopeAtenas R.L. en Atenas que descargan en el río Cacao. En cada fecha se realizó un muestreo biológico a 50 m. aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga de los desechos líquidos. Además se obtuvo datos de DBO, DQO, pH, grasas y aceites, sólidos sedimentables, temperatura, oxígeno disuelto y caudal de río. Se realizaron muestreos sistemáticos de insectos acuáticos para obtener la abundancia relativa, riqueza de taxa, diversidad según Shannon-Wiener (H'), similitud según Bray-Curtis y el índice biológico B.M.W.P. adaptado para Costa Rica. De los parámetros físico-químicos se observó que sólo el caudal disminuyó de manera significativa con la cosecha. Con respecto a la población de insectos se dió un aumento en la abundancia río abajo de la descarga para los tres beneficios y conforme avanzaba la cosecha. Esto se debió al aumento de la densidad de larvas de *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) conocidos por su tolerancia a la contaminación orgánica que se convirtieron en dominantes en la muestra. Al mismo tiempo disminuyeron otros insectos sensibles a la contaminación orgánica, lo que resultó en bajas en la riqueza y la diversidad. La similitud entre las muestras tomadas río arriba y río abajo es menos de la mitad (0,41), mientras que entre los tres momentos de la cosecha resultan muy

similares el pico y el fin de cosecha (0,81) y muy poco similares el inicio y el fin (0,26). En este estudio *Chironomus* es el más importante indicador biológico de contaminación orgánica y el único género de la familia con esa capacidad. Otros géneros que resultaron sensibles fueron el díptero *Simulium* (Simuliidae), los efemerópteros *Baetodes* (Baetidae), *Leptohyphes* (Leptohyphidae) y *Thraulodes* (Leptophlebiidae), los tricópteros *Leptonema* y *Smicridea* (Hydropsychidae), los odonatos *Hetaerina* (Calopterygidae) y *Argia* (Coenagrionidae) y el coleóptero *Psephenus* (Psephenidae). Según el índice biológico en Rolando Rojas y CoopeAtenas se presentaron aguas limpias río arriba mientras que río abajo la calidad disminuyó hasta fuertemente contaminada para el pico de cosecha. Coopecafira presentó aguas contaminadas todo el trabajo. Se concluye que existe un efecto importante en las poblaciones de insectos acuáticos durante el periodo de cosecha el cual no es detectado por las pruebas de laboratorio. Se recomienda evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento y analizar los límites y rangos establecidos de ley. Además incluir el uso de insectos acuáticos como parte de las pruebas de calidad de aguas, realizando varias mediciones de la población como abundancia, riqueza, diversidad, índice biológico, entre otros que ofrezcan un panorama más amplio del estado de las comunidades.

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Básicas
Escuela de Biología



**Uso de los insectos acuáticos como
bioindicadores de la calidad de agua de
ríos utilizados por beneficios de café en
la provincia de Alajuela, Costa Rica.**

Proyecto de Tesis para optar por el grado de Licenciado
en Biología con énfasis en Recursos Acuáticos

Postulante

Leonel Fernández Quirós

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
I Semestre 2002**

Esta tesis fue aprobada por la comisión del Programa de Licenciatura de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Licenciado.

Miembros del tribunal Examinador

Dra. Monika Springer
Directora de tesis

M.Sc. Daniel Briceño
Director de la Escuela de Biología

M.Sc. Gerardo Umaña
Miembro del tribunal

M.Sc. Alexis Rodríguez
Miembro del tribunal

Dr. Jose A. Vargas
Miembro del tribunal

Leonel Fernández Q.
Postulante

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 24 de julio del 2002

DEDICATORIA

**Aunque nuestra boca estuviera
llena de canto como el mar;
y nuestra lengua de júbilo
como el bramido de sus olas;
y nuestros labios de alabanza
como la amplitud del firmamento;
y nuestros ojos resplandeciesen
como el sol y la luna;
y nuestros brazos se extendiesen
como las águilas de los espacios;
y nuestros pies fuesen ligeros
como los de los ciervos...
no alcanzaríamos a agradecerte,
Adonai, Dios nuestro
y Dios de nuestros padres,
y a bendecir tu Nombre
ni una infinitésima parte,
por los beneficios que hiciste
a nuestros padres
y a nosotros.
Amén.**

Ignacio Larrañaga

AGRADECIMIENTOS

- A mis papás y hermanos por todo el cariño y apoyo que me han brindado siempre, pero en especial durante éstos años de estudio.
- A Cris, por estar siempre ahí, junto a mi, por ser el motivo de mi alegría y la inspiración de mi vida.
- A Monika, por todo el apoyo brindado siempre, aún antes del nacimiento de ésta idea, y por motivarme siempre a seguir adelante.
- A don Gerardo U., por ser ejemplo y guía y por su gran aporte a éste trabajo.
- A don Alexis R. por su colaboración desinteresada.
- Al CIMAR por la colaboración con equipo para muestreo e identificación.
- A los gerentes y dueños de los tres beneficios por abrirme las puertas y brindarme su apoyo.
- A Víctor Rojas y Albino Rodríguez del CICAPE, por apoyar mi iniciativa y colaborar con los datos físico-químicos.
- A José Quirós y Jorge Polimeni del Programa Bandera Ecológica del MINAE, por su interés y colaboración a la hora de tocar puertas.
- A John V y Biología del OIJ, por toda la asistencia logística y tecnológica.
- A Silvia A., Jeffrey S., Vernon, y José Pablo, por su valiosísima y desinteresada ayuda en el trabajo de campo.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice General	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Cuadros	viii
Capítulo I	
1. Justificación	9
• Antecedentes	11
Capítulo II	
2.1 Marco teórico	14
• Antecedentes históricos	16
• Biomonitorio	17
2.2 Objetivo general	20
2.3 Objetivos específicos	20
Capítulo III	
3. Metodología	21
• Muestreo físico-químico	24
• Muestreo biológico	25
• Identificación de organismos	26
• Análisis de los datos	27
Capítulo IV	
4. Resultados	29
• Muestreo físico-químico	29
• Muestreo biológico	31
• Indicadores de contaminación	39
• Índice biológico	45
Capítulo V	
5. Discusión	48
• Muestreo físico-químico	48
• Muestreo biológico	51
• Indicadores de contaminación	55
• Índice biológico	60
Capítulo VI	
6. Conclusiones y Recomendaciones	61
Literatura citada	64
Anexos	
1. Valores para el cálculo del índice biológico BMWP modificado.	
2. Macroinvertebrados capturados en los tres ríos muestreados según beneficio, período de la cosecha y punto de muestreo.	

CONTENIDO

PÁGINA

3. Imágenes del efecto de los beneficios en los ríos
 - Coopecafira (a-f)
 - Rolando Rojas (g-m)
 - CoopeAtenas (n-s)
4. Imágenes de las larvas más importantes
 1. *Chironomus* (a-e)
 2. *Baetodes* (a-c)
 3. *Leptohyphes* (a-c)
 4. *Thraulodes* (a-c)
 5. *Leptonema* (a-c)
 6. *Smicridea* (a-c)
 7. *Simulium* (a-b)
 8. *Argia* (a-d)
 9. *Hetaerina* (a-b)
 10. *Psephenus* (a-c)
 11. Otras larvas de la familia Chironomidae
 1. *Endotribelos* cf. (a-f)
 2. *Eukiefferiella* cf. (a-e)
 3. Orthocladiinae gen.undet.1 (a-e)
 4. Orthocladiinae gen.undet.2 (a-e)
 5. Orthocladiinae gen.undet.3 (a-e)
 6. Orthocladiinae gen.undet.4 (a-f)
 7. *Polypedilum* (a-d)
 8. *Rheotanytarsus* cf. (a-d)

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PAGINA
Figura 1. Localización de los beneficios Coopecafira R.L. en San Ramón y Rolando Rojas y Cía. y CoopeAtenas R.L. en San Isidro de Atenas.	22
Figura 2. Imágenes del río Grande de San Ramón frente a Coopecafira y del río Cacao en Atenas frente a Rolando Rojas y CoopeAtenas	23
Figura 3. Valores de Caudal (m^3/s) para los tres ríos muestreados según el período de la cosecha.	30
Figura 4. Macroinvertebrados más abundantes según orden, familia y género en los ríos muestreados.	31
Figura 5. Abundancia relativa de macroinvertebrados para los tres beneficios muestreados en tres momentos de la cosecha y en ambos sitios de muestreo.	32
Figura 6. Abundancia relativa de macroinvertebrados en los ríos según el beneficio que los afecta y según el sitio de muestreo.	33
Figura 7. Número de taxa presentes para los ríos según la época de cosecha y el beneficio para los dos sitios de muestreo.	34
Figura 8. Índice de diversidad de Shannon para los tres ríos muestreados según el sitio de muestreo y el beneficio.	35
Figura 9. Abundancia relativa de macroinvertebrados según orden para los tres beneficios muestreados en los sitios "antes" y "después".	36
Figura 10. Análisis de escala multidimensional para los valores de similitud entre los tres beneficios y para los dos puntos de muestreo.	37
Figura 11. Análisis de escala multidimensional para los valores de similitud entre los beneficios Coopecafira, Rolando Rojas y CoopeAtenas para los tres momentos de la cosecha.	38
Figura 12. Abundancia relativa del género <i>Chironomus</i> según beneficio, sitio y fecha del muestreo.	39
Figura 13. Abundancia relativa del género <i>Baetodes</i> según beneficio, sitio y fecha del muestreo.	40
Figura 14. Abundancia relativa de los géneros <i>Leptohyphes</i> y <i>Thraulodes</i> según beneficio, sitio y fecha del muestreo.	41
Figura 15. Abundancia relativa del género <i>Simulium</i> según beneficio, sitio y fecha del muestreo.	42
Figura 16. Abundancia relativa de género <i>Leptonema</i> y <i>Smicridea</i> según el beneficio, sitio y fecha del muestreo.	43
Figura 17. Estado de los tres ríos muestreados según beneficio que lo afecta, sitio y fecha del muestreo, utilizando el índice biológico B.M.W.P. modificado para Costa Rica.	47

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO

PAGINA

Cuadro 1. Datos físico-químicos de los beneficios y ríos muestreados	29
Cuadro 2. Valores del índice B.M.W.P. modificados obtenidos para las muestras según beneficio, sitio y fecha.	47



CAPÍTULO I

1. JUSTIFICACION

Dada la creciente preocupación mundial por la protección ambiental y el desarrollo sostenible, científicos y administradores han estado uniendo esfuerzos para reducir la contaminación y hacer un mejor uso de los recursos disponibles. El gran problema se da a la hora de hacer un balance entre los intereses económicos y los ecológicos o de conservación de recursos. Costa Rica a través de su historia ha sido un país con una amplia tradición cafetalera gracias a condiciones favorables de clima, suelo, altitud y aguas. Sin embargo, el material residual que se genera después del procesamiento del grano ha sido una de las mayores fuentes de contaminación de las aguas de los ríos (Anónimo, 2000). Estudios realizados para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados indican que en 1989 los beneficios de café aportaban aproximadamente el 70% de los contaminantes que ingresaban a nuestros ríos (Fiatt, 1994). Esto entre otras razones debido a que del peso total de un fruto del café, aproximadamente el 65% era desecho que iba a dar a los ríos (Zúñiga y Solís, 1991). En Costa Rica como en el resto de Latinoamérica, a excepción de Brasil y México, se utiliza el proceso de beneficiado húmedo que produce problemas de gran magnitud de contaminación de aguas (Anónimo, 1982) ya que se utiliza agua en diferentes etapas del proceso, que luego es vertida a los cauces de los ríos en su totalidad, trastornando el balance natural de éstos. Se agrava esta situación por el hecho de que la temporada de café coincide con la época de

verano por lo que los ríos tienen caudales muy bajos y por esto la dilución natural no actúa tan rápidamente.

A pesar de lo grave de la situación de los ríos no fue hasta hace poco que se hizo conciencia de la magnitud del problema y se inició un proceso de disminución del efecto contaminante de los beneficios. En el año 1992, surgió una propuesta de en ese sentido a escala industrial, impulsada por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), y constituida por tres fases (Roldán, 1996). Por medio del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) se implementó un programa acogido por cuatro instituciones públicas, a saber ICAFE, Ministerio de Salud, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Servicio Nacional de Electricidad (actual ARESEP), convirtiéndose luego en un Convenio de Cooperación entre éstas instituciones (Vázquez, 1997). Se planteó un programa de descontaminación a ser realizado en cuatro etapas y que pretendía, entre otras cosas, brindar asesoría técnica en obras civiles, diseño, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento para las aguas del beneficio, consolidar el marco jurídico e institucional y establecer normas para el manejo de las aguas de residuos del café en forma integral. Para la cosecha 1997-1998 las entidades de salud y ministerios exigían al sector cafetalero cumplir con los estándares máximos permitidos de descarga a los ríos de aguas usadas en los beneficios. Es decir, todas las plantas del beneficiado debían tener tratamientos finales de agua y utilizar la menor cantidad posible en todo el proceso (Danse y Bolaños, 2002). Según Rolando Vázquez (1997) del CICAFE, lo positivo de ésta experiencia es que se calcula cerca de un 40% en reducción de la contaminación, lo que estaría

validando la inversión y el uso de tecnologías limpias. Esta mejora en la situación de los ríos se reflejó también en el "Informe Final de Factibilidad para el rescate de la cuenca del Grande de Tárcoles" realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en el que las autoridades reconocieron los esfuerzos realizados por el sector cafetalero que han reducido en forma considerable la descarga de desechos en esa cuenca. Incluso se calcula que representan únicamente el 5% de la contaminación total del río (Anónimo, 2000). A pesar de esta mejoría existe todavía mucho por realizar en éste campo. Según el Lic. Albino Rodríguez, químico del CICAPE (com. pers.), hay beneficios que cuentan con las instalaciones y la tecnología requerida para el tratamiento de las aguas pero por falta de mantenimiento o de un manejo adecuado éstas no cumplen con su propósito y la contaminación se sigue dando. Además Danse y Bolaños (2002) objetan que la revisión del cumplimiento legal se hace únicamente tres veces por cosecha, lo cual limita la garantía del cumplimiento total durante toda la cosecha. También podemos mencionar que se da un control solamente de tipo físico-químico, lo que limita en mucho el conocer el estado de los ríos de una manera más amplia.

Antecedentes

Dada la necesidad de estudiar la situación actual de los ríos que reciben descargas de beneficios de café, y en un afán por asociar los insectos acuáticos y el biomonitoreo a la problemática de los beneficios en Costa Rica, se realizó un estudio piloto que abarcó desde finales de Octubre de 1999 a principios de Marzo

del 2000. El trabajo se realizó en el Beneficio Tres Volcanes (F.J. Orlich y Hnos., LTDA), localizado en San Rafael de Ojo de Agua en Heredia. Se obtuvieron muestras de macroinvertebrados en el río en un sitio antes y uno después de que pasara por el beneficio para determinar el efecto de las aguas vertidas en la macrofauna. Como resultados se logró comprobar una diferencia en las larvas de insectos que se encontraron antes y después del punto de descarga de las aguas (Fernández, en prep.). Se observó también en el período de mayor actividad del beneficio (Diciembre-Enero) una disminución significativa en la diversidad macrobentónica del sitio y un aumento explosivo en la cantidad de larvas de *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). Estas larvas son comúnmente conocidas como "gusanos de sangre" debido a su coloración roja ocasionada por la presencia de hemoglobina que utilizan para almacenar oxígeno. Esta característica les permite vivir en áreas de condiciones limitantes como fondos de lagos o áreas de alta contaminación orgánica (Hutchinson, 1993). En otro trabajo realizado en el río Jaba en Coto Brus, Alvarez (1996) observó la misma tendencia de disminución en la mayoría de las especies y aumento de las larvas de *Chironomus* luego del punto de descarga del Beneficio La Meseta.

Con éstos antecedentes surgió la idea de estudiar más a fondo el efecto de los desechos vertidos por beneficios de café a los ríos realizando un trabajo más detallado que abarcara más sitios de muestreo y tomando en cuenta otros factores importantes como los físico-químicos. Además, resulta muy importante analizar si los parámetros y normas que rigen la calidad de los vertidos en el país son los adecuados para valorar la calidad del agua.

En Costa Rica hasta hace poco tiempo eran pocos los trabajos realizados con macroinvertebrados indicadores de contaminación. Se conoce como primera referencia el trabajo realizado por Myrna Marín (1973) en la Quebrada Los Negritos de la Universidad de Costa Rica. En los últimos años aumenta el interés por este tipo de investigaciones y surgen trabajos como el de Charpentier y Tabash (1988) utilizando el zoobentos de ríos de la provincia de Heredia, o el que por varios años realizó Mariano Peinador en el Laboratorio de Biología de Acueductos y Alcantarillados utilizando macroinvertebrados y microinvertebrados en el análisis de aguas (sin publ.). También importantes han sido las investigaciones de Astorga y Coto (1996) en los ríos Tárcoles y Reventazón, y Astorga y Flowers (1997) en el río Tempisque, Golfo de Nicoya, en las que se ha tratado de implementar un índice biológico para determinar la calidad de las aguas de los ríos de Costa Rica. Otros trabajos valiosos en el tema de los insectos acuáticos han sido el de Paaby et al (1998) en la zona de Sarapiquí y el programa de plaguicidas de la UNA (Anónimo, en prep.). De la misma manera, hay que destacar el establecimiento de una colección de referencia en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica que cuenta con más de 278 géneros (Springer, 1998). En cuanto al estudio de macroinvertebrados en Latinoamérica los países con mayor información son aquellos de zonas templadas: Argentina, Chile, Uruguay y sur de Brasil (Roldán, 1997).



CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

Los orígenes del problema de la contaminación están asociados directamente a la presencia del hombre en la tierra. La falta de conciencia y la actividad humana han contribuido desde siempre al deterioro y desequilibrio de los sistemas naturales, en especial los sistemas acuáticos. Aunque se han logrado establecer métodos de evaluación y corrección de efectos indeseables, el problema de la contaminación de los ríos sigue agravándose en todo el mundo debido a la explosión demográfica, ampliación de sistemas de alcantarillado, efecto de las industrias y al uso de productos sintéticos (Dominici, sin publ.). En los ríos podemos encontrar diversos tipos de contaminación dependiendo de la fuente contaminante, por ejemplo la contaminación química inorgánica (ácidos, bases, sales de metales pesados, sales solubles, etc.) y orgánica (proteínas, grasas, jabones, detergentes, aceites, etc.). También contaminación física que puede ser térmica, suspensión de sólidos (sedimentos, basura, etc.) y biológica (bacterias, hongos, virus, protozoarios, algas, etc.) (Mata, 1982). El efecto nocivo de los contaminantes puede darse por la dilución de éstos en el sistema acuático o por la acumulación de distintos tóxicos en los organismos o en el ecosistema. Entre los efectos más importantes encontramos la disminución en los niveles de oxígeno disuelto que ocasiona entre otras cosas reducción en el crecimiento y la diversidad de las comunidades de vertebrados, invertebrados,

plantas, en la supervivencia de huevos y crías, en la capacidad de reproducción, aumento en la aparición de enfermedades y en la vulnerabilidad de los organismos a éstas (Anónimo, 1993). Para analizar el grado de contaminación de las aguas en los ríos se pueden utilizar los indicadores microbiológicos como bacterias de origen fecal, el análisis químico de la calidad del agua por medición de metales, DBO, DQO, entre otros y los indicadores biológicos.

Los biólogos muchas veces se encuentran en la posición de usar patrones de distribución y abundancia de los organismos para detectar cambios ambientales y para inferir la causa del cambio al asociar modificaciones en las variables biológicas con los correspondientes cambios en las variables físico-químicas (Norris y Georges, 1993). De éstas observaciones y de la necesidad de detectar y medir la contaminación han surgido ramas como el biomonitoreo o la bioindicación, que consisten en el uso sistemático de organismos vivos o sus respuestas para determinar la calidad del ambiente acuático (Rosenberg y Resh, 1996). Usa especie indicadora según Johnson et al (1993) es aquella que presenta requerimientos especiales de un conjunto conocido de variables físicas o químicas de tal manera que cualquier cambio en presencia / ausencia, número, morfología, fisiología o comportamiento de esa especie indica que las variables físicas o químicas se encuentran fuera de sus límites preferidos. Éstos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos "sensibles" que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como "intolerantes", mientras que otros, que son "tolerantes" no se

ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aún cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, 1996).

Entre las características que debe tener un indicador "ideal" podemos mencionar: 1) fácil identificación taxonómica incluso por no especialistas, 2) distribución cosmopolita que permita hacer comparaciones a escalas más grandes, 3) abundancia numérica, 4) poca variabilidad genética y ecológica, 5) tamaño de cuerpo grande que faciliten el muestreo, 6) que sean sedentarios o que se movilicen poco y que posean una historia de vida larga, 7) características ecológicas conocidas y 8) apropiados para estudios de laboratorio (Johnson et al, 1993; de la Lanza, 2000).

- **Antecedentes históricos**

Desde las últimas décadas del siglo XIX se realizaron las primeras investigaciones utilizando invertebrados acuáticos como indicadores de contaminación (Tabash, 1988; Resh et al, 1996). En Alemania para principios del siglo XX, Kolkwitz y Marsson desarrollaron el concepto de saprobia (grado de

contaminación orgánica) como una medida del grado de contaminación de un río que traía la consecuente disminución del oxígeno disuelto y su efecto en la vida acuática. De ésta manera elaboraron una lista de organismos indicadores de calidad de agua que fue la base para muchas investigaciones posteriores. Para los años 70 se dio un cambio en las tendencias de los estudios dándole un mayor énfasis a los estudios cuantitativos entre los que se incluyeron uso de índices de diversidad, elaboración de hipótesis, muestreos con réplicas y análisis estadísticos detallados. En los últimos años se ha visto un aumento en el interés por los métodos cualitativos pues se comprobó que son menos costosos y consumen menos tiempo. Se han desarrollado lo que se conoce como "procedimientos para monitoreos rápidos" para detectar de la forma más sencilla posible la presencia de focos de contaminación (Resh y Jackson, 1993).

- **Biomonitoreo**

El monitoreo biológico se ha visto como una forma novedosa y más acertada que los métodos físicos y químicos que se han utilizado tradicionalmente. Esto porque una medición física y química captura el estado del agua en el momento en que se toma la muestra, mientras que un estudio biológico de los macroinvertebrados nos puede dar una idea en un rango más amplio en el tiempo. Rosenberg (1998) comenta al respecto que las mediciones químicas son como tomarle una fotografía al ecosistema mientras que mediciones biológicas son como hacer un video. A pesar de esto los métodos físico-químicos y biológicos no son excluyentes entre sí y se recomienda el uso de ambos para tener un

panorama más amplio del estado de los ambientes acuáticos (Rosenberg y Resh, 1996; Posada et al, 2000).

De los muchos organismos acuáticos estudiados en la actualidad los más utilizados para éste tipo de estudios son los macroinvertebrados bentónicos (Roldán, 1997; de la Lanza, 2000; Posada et al, 2000). Se definen como organismos, mayoritariamente insectos acuáticos, que viven en sustratos sumergidos de hábitats dulceacuícolas por lo menos una parte de su ciclo de vida y son retenidos por redes con tamaños de mallas entre 200 y 500 micras (Rosenberg y Resh, 1993). Su amplio uso se debe a que presentan características como: (1) ocupan una gran variedad de hábitats lo que permite que sean afectados por perturbaciones en muchos sitios, (2) presentan un gran número de individuos que ofrecen diferentes tipos de respuestas a diferentes tipos de estrés ambiental, (3) por naturaleza son relativamente sedentarios lo que permite la determinación del sitio y el alcance espacial de las perturbaciones, (4) los ciclos de vida son largos si se compara con otros grupos lo que permite el estudio de cambios temporales en abundancia o distribución de edades, entre otros y además de que (5) son relativamente más fáciles de recolectar e identificar que otros grupos (Rosenberg y Resh, 1996; Alba-Tercedor, 1996; de la Lanza, 2000). Existen ciertos factores que limitan el potencial de éstos métodos de monitoreo y que deben ser considerados, como que no responden de manera directa a todos los tipos de impacto y que su distribución y abundancia pueda verse afectada por la influencia de otros factores que no sean la calidad del agua

(ej. tipo de sustrato, velocidad de la corriente, temporada, capacidad de dispersión). Por otro lado, para algunos grupos no existen claves para la identificación, en especial para los países neotropicales. A pesar de esto, en la actualidad son numerosas las metodologías existentes y los países en los que se aplican por ley y de forma rutinaria (Alba-Tercedor, 1996). Su uso ha sido ratificado por las Naciones Unidas y la Comisión Económica para Europa quienes en el documento resultado de la Convención para Protección y Uso de Cursos de Agua y Lagos realizada en Helsinki en 1992, reafirmaron los macroinvertebrados bénticos como una útil y práctica herramienta para el monitoreo rutinario de la calidad biológica de ríos (Anónimo, 1998). Otro ejemplo es la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos que desde inicio de los noventa utiliza de manera oficial el monitoreo biológico realizado por voluntarios para controlar la calidad de los ríos (de la Lanza, 2000).

2.2 OBJETIVO GENERAL

Validar el uso de insectos acuáticos como una herramienta útil para determinar el grado de contaminación orgánica de los ríos, especialmente la causada por los desechos producto de beneficios de café.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si existen cambios en la abundancia, diversidad y composición de las comunidades de insectos acuáticos debido a la presencia de contaminantes orgánicos provenientes de beneficios de café.
- Confirmar según el comportamiento observado la capacidad de ciertas especies o taxa de funcionar como indicadores de la calidad de agua de los ríos que reciben efluentes de beneficios de café.
- Relacionar el monitoreo biológico con el análisis de parámetros físico-químicos para lograr una visión más amplia de la situación de los ríos afectados por beneficios de café en la provincia de Alajuela.



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres beneficios localizados en la provincia de Alajuela que son Coopecafira R.L. a 1000 m.s.n.m. (Fig. 1a), Rolando Rojas y Cía. S.A. a 750 m.s.n.m. y CoopeAtenas R.L. a 725 m.s.n.m. (Fig. 1b). El primer beneficio está localizado en San Ramón y vierte sus aguas tratadas en el río Grande (Fig. 2a). Los otros dos beneficios se encuentran en San Isidro de Atenas y vierten en el río Cacao (Fig. 2b y c) siendo Rolando Rojas el que se encuentra río arriba a una distancia aproximada de 1km. El período de muestreo comprendió de Octubre del 2000 a Marzo del 2001 en lo que corresponde a la cosecha del año 2000 y en los tres momentos más importantes de la cosecha: inicio, pico, y fin. Específicamente el 26 de octubre, 11 de enero y 15 de marzo en Coopecafira; 24 de noviembre, 12 de enero y 8 de febrero en Rolando Rojas y 27 de noviembre, 13 de enero y 23 de marzo para CoopeAtenas. Para cada fecha se realizó el muestreo físico-químico y el muestreo de macroinvertebrados.

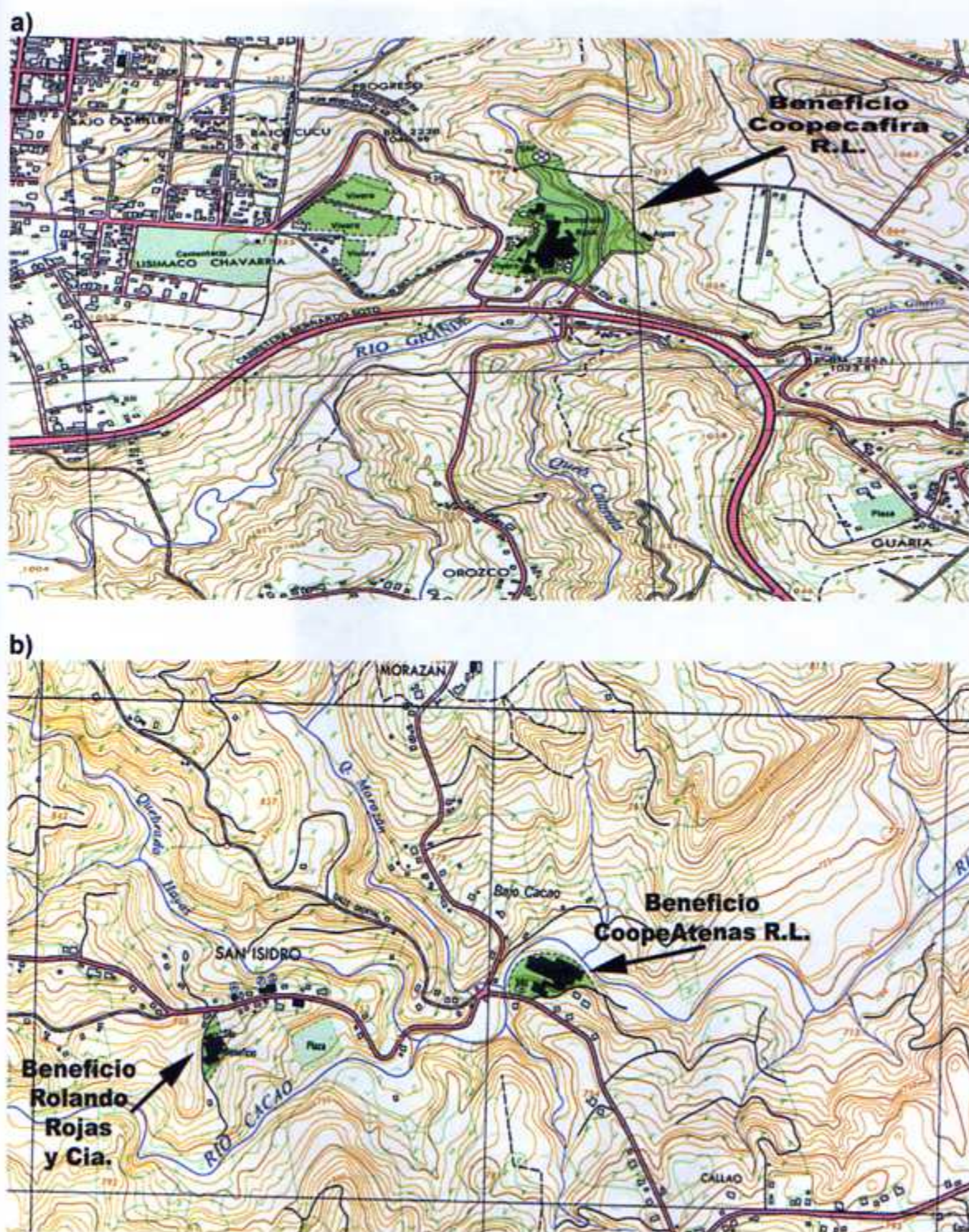


Fig. 1. Localización de los beneficios a) Coopecafira R.L. en San Ramón y b) Rolando Rojas y Cía. y CoopeAtenas R.L. en San Isidro de Atenas, Alajuela. Costa Rica (Instituto Geográfico Nacional, 1:10,000).



a)



b)



c)

Fig. 2. Imágenes del río Grande de San Ramón en a) Coopecafira y del río Cacao en Atenas en b) Rolando Rojas y c) CoopeAtenas. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

- **Muestreo físico-químico**

Los datos físico-químicos se obtuvieron en colaboración con el Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) y con el consentimiento de los beneficios. El CICAFE se encargó de realizar el muestreo y análisis respectivo a solicitud de los mismos beneficios, debido a que desde 1997 y según el Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE, todos están en la obligación de presentar al Ministerio de Salud un Reporte de Operaciones que permite conocer la calidad del tratamiento de aguas residuales en tres momentos de la cosecha (Rodríguez, 2000). El único muestreo realizado por un laboratorio privado fue el fin de cosecha para CoopeAtenas R.L. que fue realizado por Laboratorio Químico Lambda. Los parámetros que por ley se deben analizar para aguas residuales de tipo especial son: a) demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), potencial hidrógeno (pH), grasas y aceites (GyA), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), y temperatura (T) (Figueres et al, 1997). Éstas muestras se tomaron en las lagunas de tratamiento de aguas residuales o en el efluente del sistema antes de llegar a los ríos. Además debido a que se consideran factores importantes para el análisis se realizaron mediciones del oxígeno disuelto (OD) directamente en el punto de descarga al río utilizando un electrodo de membrana digital. También se calculó el caudal de río utilizando la ecuación de Manning (Chow et al, 1994).

- **Muestreo biológico**

Para cada beneficio se realizó un muestreo de macroinvertebrados en dos puntos del río localizados aproximadamente 50 m río arriba ("antes") y 50 m río abajo ("después") del punto de descarga de las aguas tratadas. En adelante en este trabajo y a menos que se trate de parámetros físico-químicos, cada vez que se menciona un beneficio se refiere a las muestras tomadas en el río o en la sección del río que recibe los desechos de ese beneficio. De manera que al mencionar las larvas encontradas en Coopecafira debe entenderse que fueron muestreadas en el río General, "antes" y "después" del sitio donde Coopecafira vierte sus desechos orgánicos.

Se utilizaron dos métodos comunes de muestreo: una red de Surber y un colador plástico (Paaby et al, 1998). El método Surber consta de una trampa con malla de 1 mm³ y un marco metálico que encierra un área aproximada de 900 cm³. El marco se coloca sobre el fondo de la corriente y con las manos se remueve el material del fondo, quedando así atrapadas las larvas en la red (Roldán, 1988). Luego el contenido de la red se coloca en una bandeja plástica en donde se separan los organismos del resto de los desechos. Con la red de Surber se realizaron tres submuestreos en un transecto a lo ancho del río. Además, se realizaron muestreos con un colador plástico de 66 cm de diámetro modificado con una malla de 500 micras. El tiempo de muestreo total por sitio fue de 45 minutos divididos en tres periodos de 15 minutos en cada uno de los microhábitats comúnmente encontrados: a) paquetes de hojas sumergidas, b) áreas de piedras en rápidos, y c) arenas y gravas en pozas (Ramírez, et al 1998). Los organismos

recolectados en el campo se fijaron en alcohol de 90% y se llevaron posteriormente al laboratorio en donde se separaron y se pasaron a alcohol de 70% para su posterior identificación.

- **Identificación de organismos**

La identificación se realizó hasta el máximo nivel taxonómico posible, utilizando un estereoscopio y la colección de referencia del Museo de Zoología de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. Como apoyo en identificación se utilizaron las claves disponibles para este fin: Roldán (1988), Merritt & Cummins (1996), Springer et al. (1999), y de la Rosa (sin publ.). Para la familia Chironomidae fue necesario separar las larvas en morfoespecies al estereoscopio y luego montar las cápsulas cefálicas de individuos en láminas utilizando Euparal como medio según método descrito por Ospina (1995). Antes de ser montadas algunas larvas requirieron una digestión de los tejidos grasos utilizando una batería de degradación con hidróxido de sodio al 5% (40 minutos, aproximadamente), y ácido acético glacial (10 minutos) según la metodología sugerida por Vargas (1999). Las láminas fueron observadas al microscopio para poder detallar características morfológicas importantes en la identificación, además fueron fotografiadas utilizando una cámara digital. Estas imágenes fueron montadas en una página web (<http://www.geocities.com/leonelfq/>) con el fin de que especialistas del exterior tuvieran fácil acceso a ellas y corroboraran la identificación. Se logró obtener la colaboración de la Dra. Maria Margarida Marques, de la Universidad de Minas Gerais, Brasil y el Dr. John H. Epler, de

Estados Unidos. Para efectos de análisis se excluyeron las siguientes familias de Hemiptera: Gelastocoridae, Gerridae, Hebriidae, Hydrometridae y Veliidae, debido a que presentan una alta capacidad de movilización ya que son patinadores de las superficies. Esta característica les permite vivir como semiacuáticos en la superficie del agua sin verse afectados necesariamente por las condiciones de esta, en especial por la contaminación orgánica (Springer, com. pers.). Todos los ejemplares fueron depositados en la colección de referencia del Museo de Zoología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

- **Análisis de los datos**

Con los datos físico-químicos se realizó un análisis de varianza de dos factores para conocer si se están dando variaciones importantes en alguno de los valores analizados durante el período de cosecha. De los datos obtenidos en el muestreo biológico se obtuvo la abundancia relativa en cada sitio y la riqueza reflejada por el número de taxa. Además, con la función de Shannon-Wiener (H' , $\log_2 p$) se obtuvo el índice de diversidad de especies (Krebs, 1998). Se realizaron pruebas de similitud utilizando el índice de Bray-Curtis según recomendaciones de Norris y Georges (1993) para comparar los beneficios, los sitios y los períodos de cosecha. Por medio de un análisis de escala multidimensional (Multidimensional Scaling) se analizaron similitudes y diferencias entre los beneficios según época de cosecha y sitio de muestreo. También se realizaron análisis de varianza para determinar que grupos se veían afectados

significativamente por el factor tiempo (inicio, pico y fin de cosecha) y por el factor sitio (antes y después del sitio de descarga). Para esto se normalizaron los datos utilizando $\log (x+1)$. Finalmente, se aplicó un índice biológico para evaluar la calidad de agua conocido como B.M.W.P. ("Biological Monitoring Working Party"). Originalmente creado por Hellawell en 1978, modificado por Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega (1988), Baena (sin publ.) y adaptado por Springer (com. pers.) con el fin de incluir a las familias presentes en nuestro país (Anexo 2).

CAPÍTULO IV



CAPÍTULO IV

Nombre	Longitud	Ancho	Superficie	Vol.	Superficie	Vol.	Superficie	Vol.
1	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
8	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
9	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	100	10	1000	1000	1000	1000	1000	1000

4. RESULTADOS

- **Datos físico-químicos**

Se obtuvieron valores de calidad de agua para pH entre 5 y 8, mientras que la temperatura se mantuvo entre 21 y 26 °C y el oxígeno disuelto varió entre 5 y 9 mg/L disminuyendo conforme avanzaba la temporada de cosecha (Cuadro 1). Además el DBO y el DQO₂ llegaron a valores máximos de 1570 y 3860 mg O₂/L para el pico de cosecha de CoopeAtenas.

Cuadro 1. Datos físico-químicos de los beneficios y ríos muestreados. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

Sitio	Fecha	pH	DQO (mg O ₂ /l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	Sólidos sedimen- -tales (ml/l/h)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Grasas y aceites (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Caudal (m ³ /s)
Coope- cafira / río Grande	Inicio	7,2	85	32	0	132	3	21	7,8	0,620
	Pico	5,3	1600	775	0,1	5280	8	22	6,3	0,330
	Fin	7,0	1410	900	0,5	1138	3	23	5,2	0,108
Rolando Rojas / río Cacao	Inicio	6,4	1380	700	4	1936	8	23	9,3	0,566
	Pico	6,6	1024	415	0,9	1618	6	23	7,8	0,210
	Fin	7,2	630	220	0,8	1388	7	25	7,8	0,106
Coope- Atenas/ río Cacao	Inicio	7,5	995	430	0,1	1356	7	25	6,5	0,630
	Pico	7,8	3860	1570	0,1	5814	7	26	6,6	0,304
	Fin*	6,9	1450	1050	0,3	170	10	26	5,2	0,112

* Muestreo realizado por Laboratorios LAMBDA S.A.

De todos éstos datos obtenidos sólo el caudal de los ríos disminuyó de manera significativa ($p=0,00009$) conforme avanzaba el período de cosecha (Fig. 3).

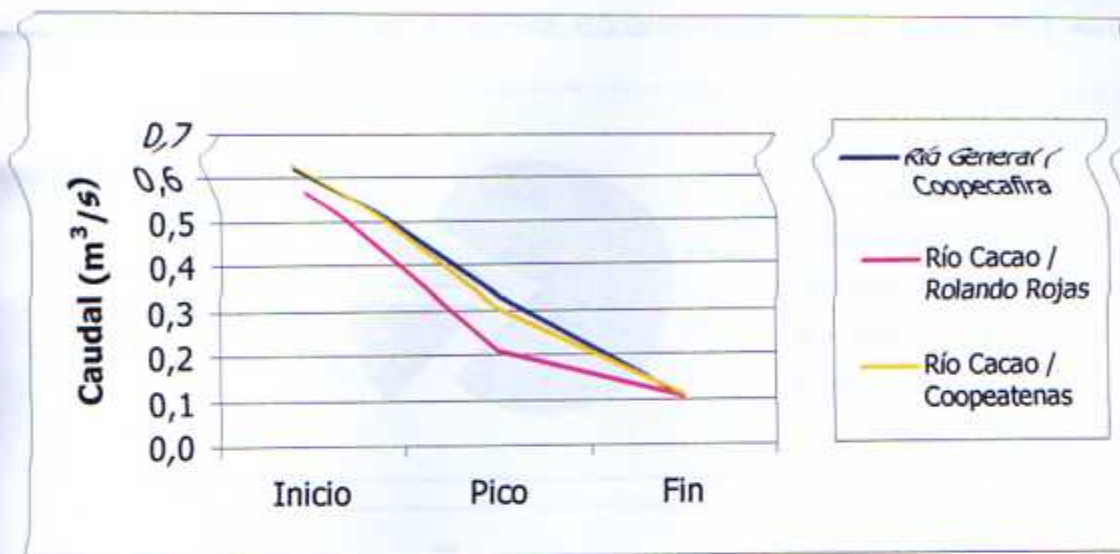


Fig. 3. Valores de Caudal (m^3/s) para los tres ríos muestreados según el período de la cosecha. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

• Muestreo biológico

En los tres ríos se recolectaron un total de 8675 individuos correspondientes a 9 órdenes, 30 familias y 51 géneros distintos (Anexo 2). Los órdenes más abundantes fueron Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera (Fig. 4a).

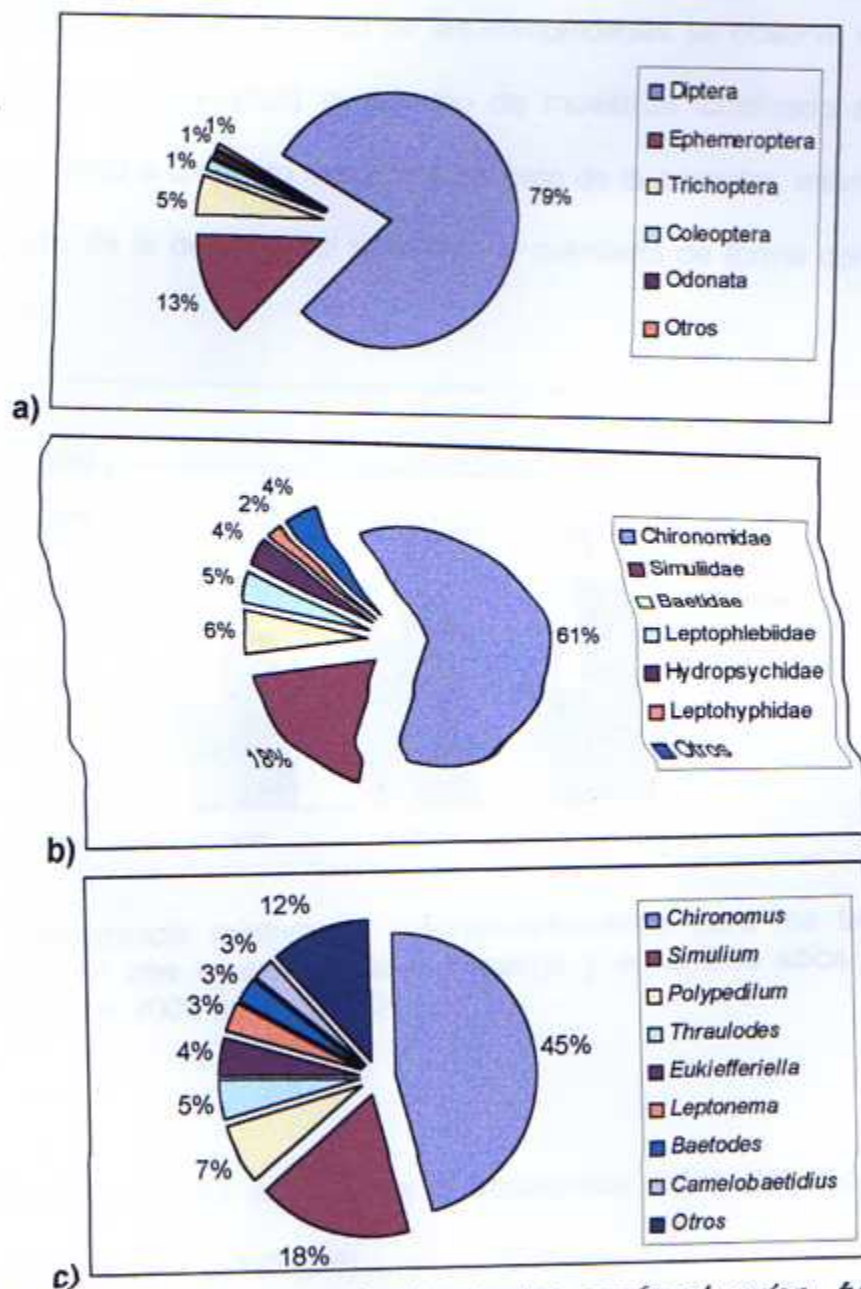


Fig. 4. Macroinvertebrados más abundantes según a) orden, b) familia y c) género en los ríos muestreados. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

Entre las familias más abundantes están Chironomidae, Simuliidae, Baetidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae y Leptohyphidae (Fig. 4b) mientras que en los géneros resaltan *Chironomus*, *Simulium*, *Polypedilum* y *Thraulodes* (Fig. 4c).

En cuanto al comportamiento de las comunidades se observa un aumento en la cantidad de organismos en el sitio de muestreo localizado antes de la descarga, que llega a un punto máximo en el pico de la cosecha, mientras que en el sitio después de la descarga el aumento se mantiene de forma continua en el tiempo (Fig. 5).

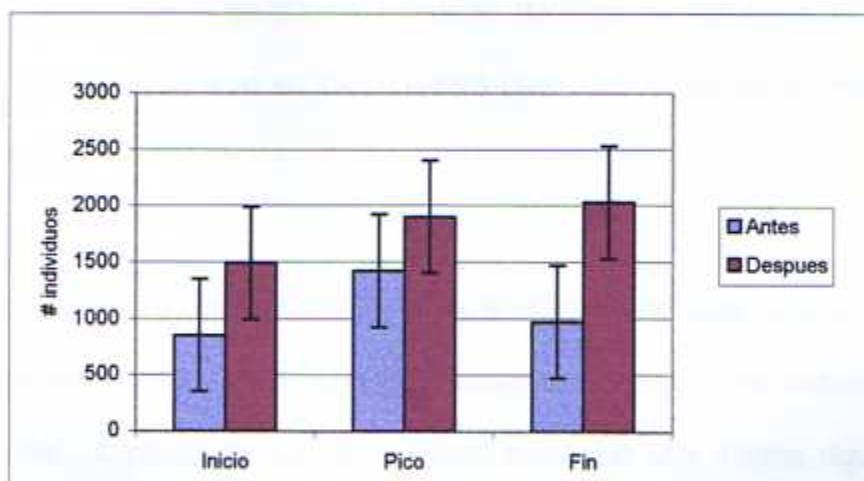


Fig. 5. Abundancia relativa de macroinvertebrados para los tres beneficios muestreados en tres momentos de la cosecha y en ambos sitios de muestreo, Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

El mismo efecto se observa si separamos éstos datos de abundancia relativa según el beneficio (Fig. 6).

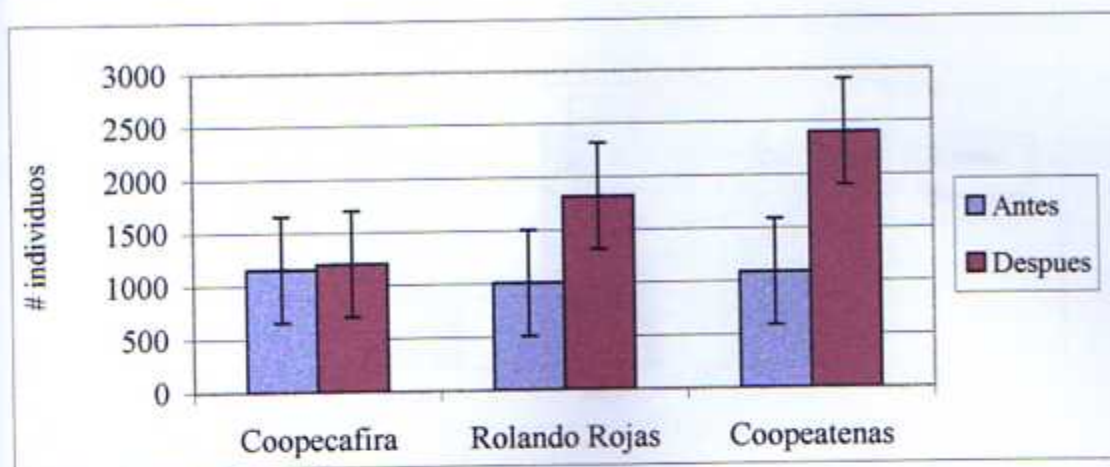


Fig. 6. Abundancia relativa de macroinvertebrados en los ríos según beneficio que los afecta y sitio de muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

En los tres casos se da un aumento de organismos entre el "antes" y el "después", que es más leve en Coopecafira pero muy evidente en Rolando Rojas y Coopeatenas.

En términos de riqueza de los sitios el número de taxa para el sitio "antes" se mantiene entre 50 y 70 con un punto máximo en el pico de cosecha. Para el sitio "después" a pesar de que en el inicio mantiene una misma riqueza para el inicio y fin de cosecha la riqueza disminuye en un 50% ó más (Fig. 7a). La misma disminución se va a observar para los tres beneficios en el sitio "después" de la descarga orgánica (Fig. 7b).

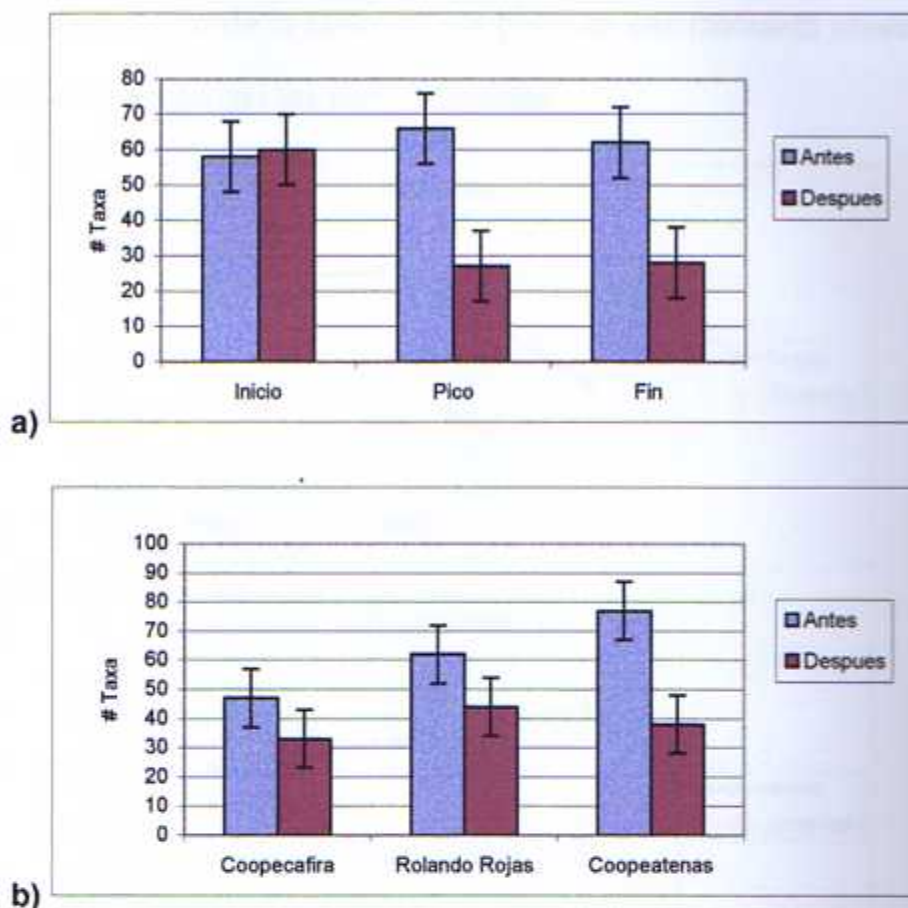


Fig. 7. Número de taxa presentes para los ríos según **a)** época de cosecha y **b)** beneficio para los dos sitios de muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2002.

Los resultados de diversidad de Shannon-Wiener (H') para los tres beneficios muestran como en Coopecafira se mantiene una diversidad baja para todo el período y se da una disminución en pico de cosecha para ambos sitios de muestreo (Fig. 8a). Además el sitio "antes" presenta siempre una diversidad mayor. En Rolando Rojas (Fig. 8b) y CoopeAntenas (Fig. 8c) la diversidad en el punto "antes" aumenta conforme se avanza en la cosecha mientras que en el punto "después" se da una pérdida importante en la diversidad que llega a su

punto más bajo en el pico de la cosecha. A partir de ese momento presenta una leve recuperación sin alcanzar los valores iniciales.

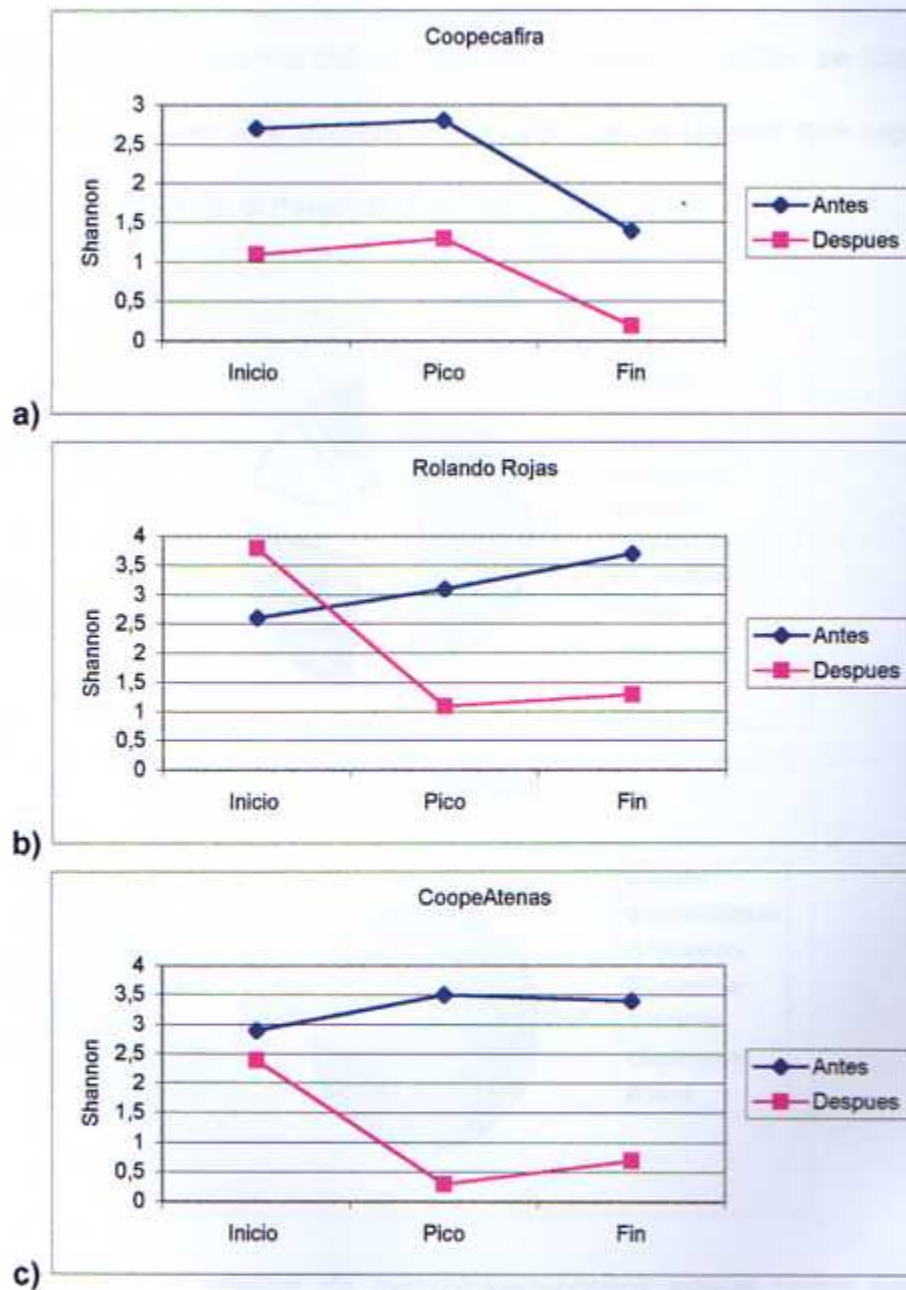


Fig. 8. Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') para los tres ríos muestreados según sitio de muestreo y beneficio: a) Coopecafira, b) Rolando Rojas y c) CoopeAtenas. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

se observó para éstos dos sitios como el pico y fin son muy similares entre sí y muy distintos al inicio de cosecha.

Al comparar la abundancia de organismos según el orden se observa como el sitio "antes" hubo una abundancia importante de Diptera que representa un poco más de la mitad de la muestra (Fig. 9a).

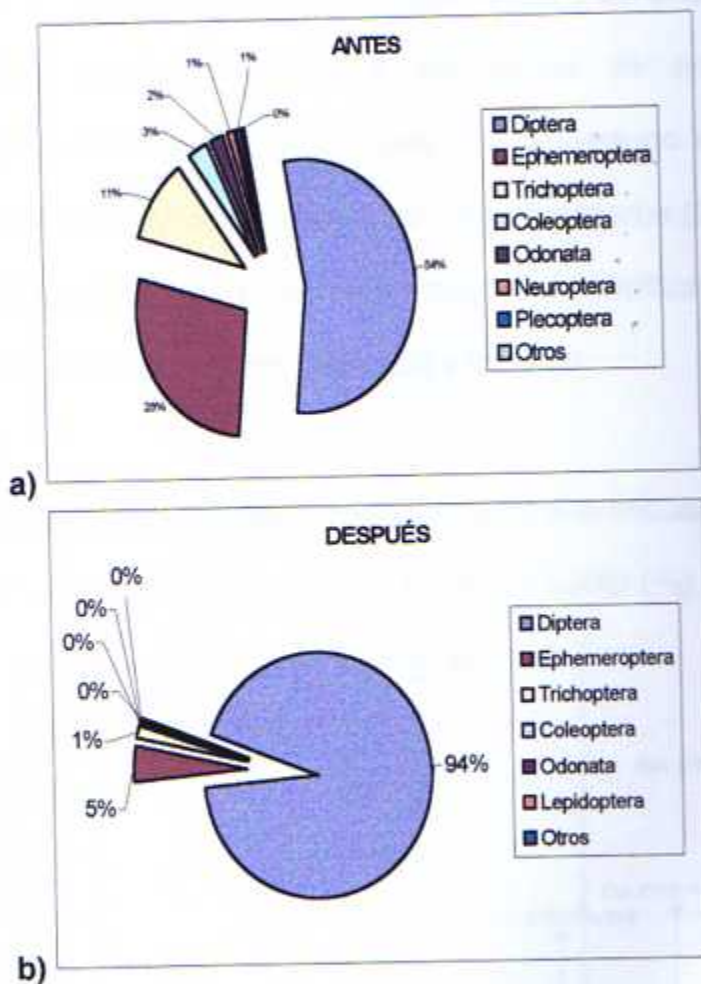


Fig. 9. Abundancia relativa de macroinvertebrados según orden para los tres beneficios muestreados en los sitios a) "antes" y b) "después". Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

Le siguieron en importancia Ephemeroptera con un 28% y Trichoptera con un 11%. En el sitio "después" se observó una dominancia casi total de los dípteros, con una disminución importante de efemerópteros, tricópteros y otros grupos que prácticamente desaparecen (Fig. 9b).

Al realizar la comparación entre muestras, sitios y beneficios se obtuvo una similitud de 0,41 en la presencia y abundancia de macroinvertebrados muestreados en los sitios "antes" y "después". Comparando las tres fechas de muestreo la mayor similitud se dió entre pico y fin de cosecha (0.81). En inicio y pico de cosecha las muestras presentaron muy poca similitud (0.38) aunque la menor similitud se dió entre muestras de inicio y fin (0.26).

El análisis de escala multidimensional mostró diferencias en similitud entre "antes" y "después" para los tres beneficios (Stress = 0,000) (Fig. 10).

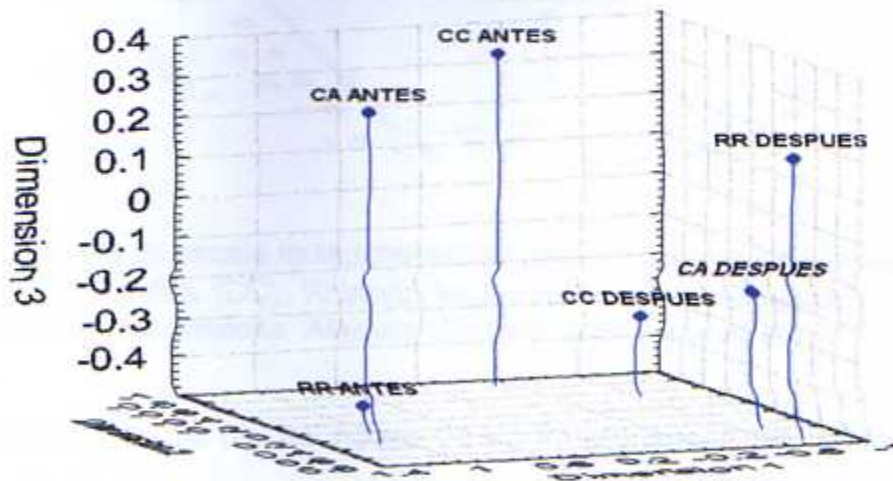


Fig. 10. Análisis de escala multidimensional para los valores de similitud entre los beneficios *Coopecafira* (CC), *Rolando Rojas* (RR) y *CoopeAtenas* (CA) para dos puntos de muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

La menor diferencia se dió en Coopecafira donde incluso el punto "antes" se encuentra más cercano a los puntos "después" que a los "antes" de los otros beneficios. Por otro lado también se observó como el "antes" de Rolando Rojas es diferente a los otros dos "antes". Al comparar los "después" los beneficios se asemejan más entre sí aunque siempre existió un comportamiento diferente en Rolando Rojas.

Con el mismo tipo de análisis considerando los tres beneficios en los tres momentos más importantes de la cosecha (Inicio, Pico y Fin) se observó una diferenciación importante entre los datos del inicio y los del resto (Stress = 0,005) (Fig. 11).

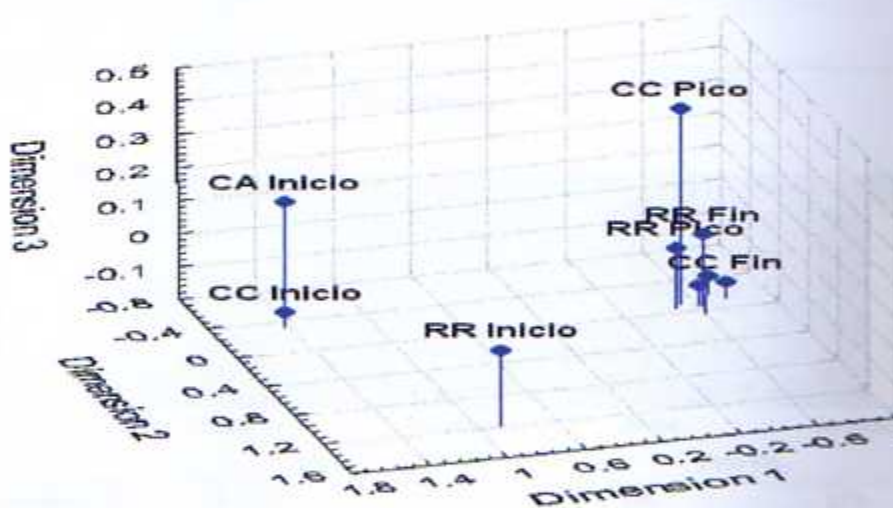


Fig. 11. Análisis de escala multidimensional para los valores de similitud entre los beneficios Coopecafira (CC), Rolando Rojas (RR) y CoopeAtenas (CA) para los tres momentos de la cosecha. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

En Rolando Rojas se dio de nuevo un inicio diferente a los de los otros dos beneficios y Coopecafira presenta de nuevo una tendencia a separarse, y comportarse de manera inversa a la de los otros dos beneficios.

- **Indicadores de contaminación**

Se encontraron 18 géneros, 7 familias y 3 órdenes con diferencias significativas en su abundancia entre los sitios ("antes" y "después"), entre fechas de muestreo (Inicio y Pico-Fin), y considerando la influencia de ambos factores a la vez. Se consideran Pico y Fin como una sola fecha debido a los resultados de similitud que se observaron entre ambas fechas. Entre los géneros más significativos ($p=0.001$ por sitio y 0.013 por fecha) aparece el díptero *Chironomus* (Diptera, Chironomidae), ya que no apareció en ningún caso en el sitio "antes" del punto de descarga, a excepción de Coopecafira donde aumentó de 1 a 185 entre inicio y pico-fin (Fig. 12).

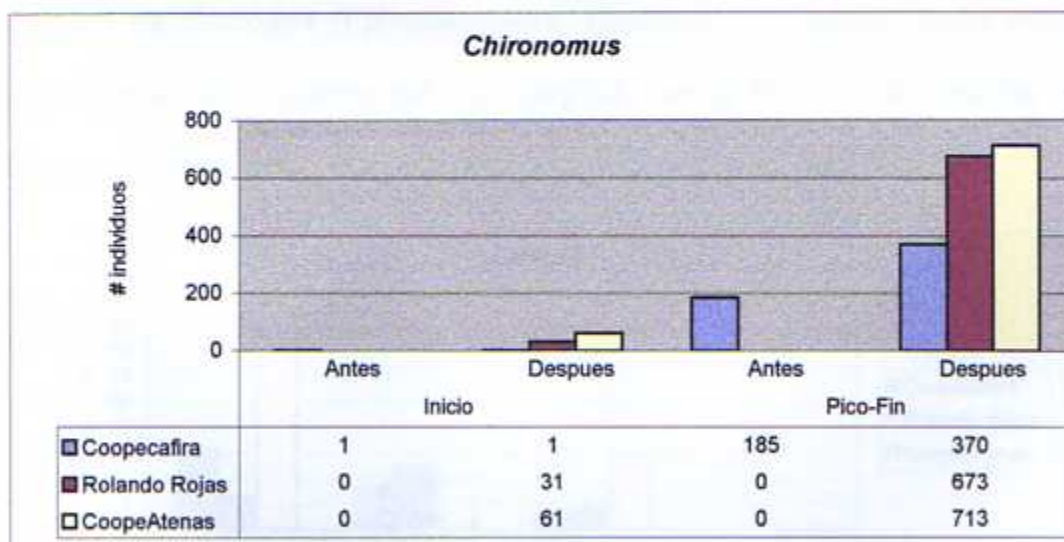


Fig. 12. Abundancia relativa del género *Chironomus* según beneficio, sitio y fecha del muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

Para el sitio "después" se observaron algunas larvas de *Chironomus* en Rolando Rojas y Coopecafira en el inicio de cosecha, pero la explosión se dio en

pico-fin alcanzando aproximados de 700 individuos luego de haber encontrado menos de 70 en inicio de cosecha. En Coopecafira también se observó un aumento entre el "antes" y el "después" aunque en menor proporción. Si se analiza la muestra total a nivel de familias, Chironomidae presenta variaciones significativas según sitio ($p=0.03$) y período de la cosecha ($p=0.04$) e inclusive a nivel de orden los dípteros varían significativamente según sitio ($p=0.008$). El segundo género más abundante de la familia, *Polypedilum* con 616 individuos, no presentó variaciones importantes que indiquen alguna capacidad indicadora.

Otro género que se ve afectado de manera significativa por el efecto sitio ($p=0.0057$), fecha ($p=0.0001$) e inclusive por ambos factores combinados ($p=0.0430$) es *Baetodes* (Ephemeroptera, Baetidae). El género llega incluso a desaparecer en las muestras del sitio "después" en el Pico-Fin de cosecha en los tres beneficios (Fig. 13).

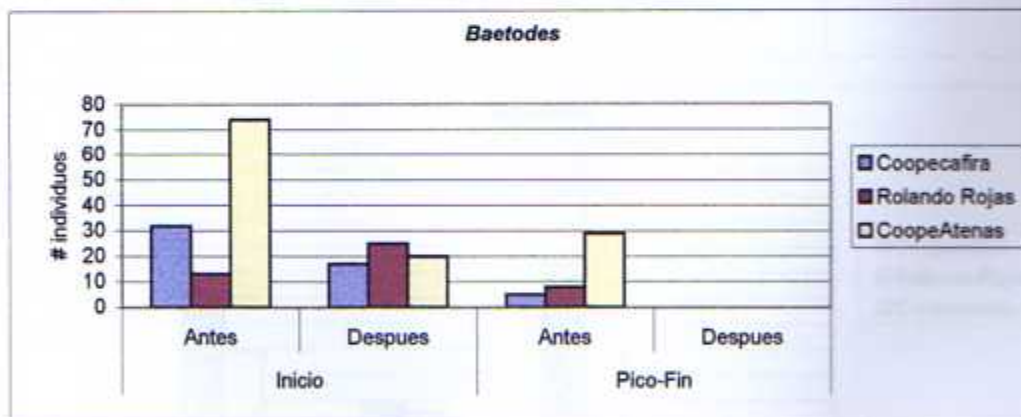


Fig. 13. Abundancia relativa del género *Baetodes* según beneficio, sitio y fecha del muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

En el orden Ephemeroptera, otros dos géneros presentaron características importantes como para considerarlos indicadores: *Leptohyphes* (Leptohyphidae) con efecto por sitio ($p=0.0015$) y fecha ($p=0.0274$) y *Thraulodes* (Leptophlebiidae) con efecto por sitio ($p=0.039$). En ambos casos el punto "antes" se mantuvo igual o inclusive tiende al aumento en el número de individuos, mientras que en el punto "después" disminuyeron hasta desaparecer en el pico-fin (Fig. 14). En las muestras de Coopecafira sólo aparecieron *Leptohyphes* pero también mostraron la misma tendencia.

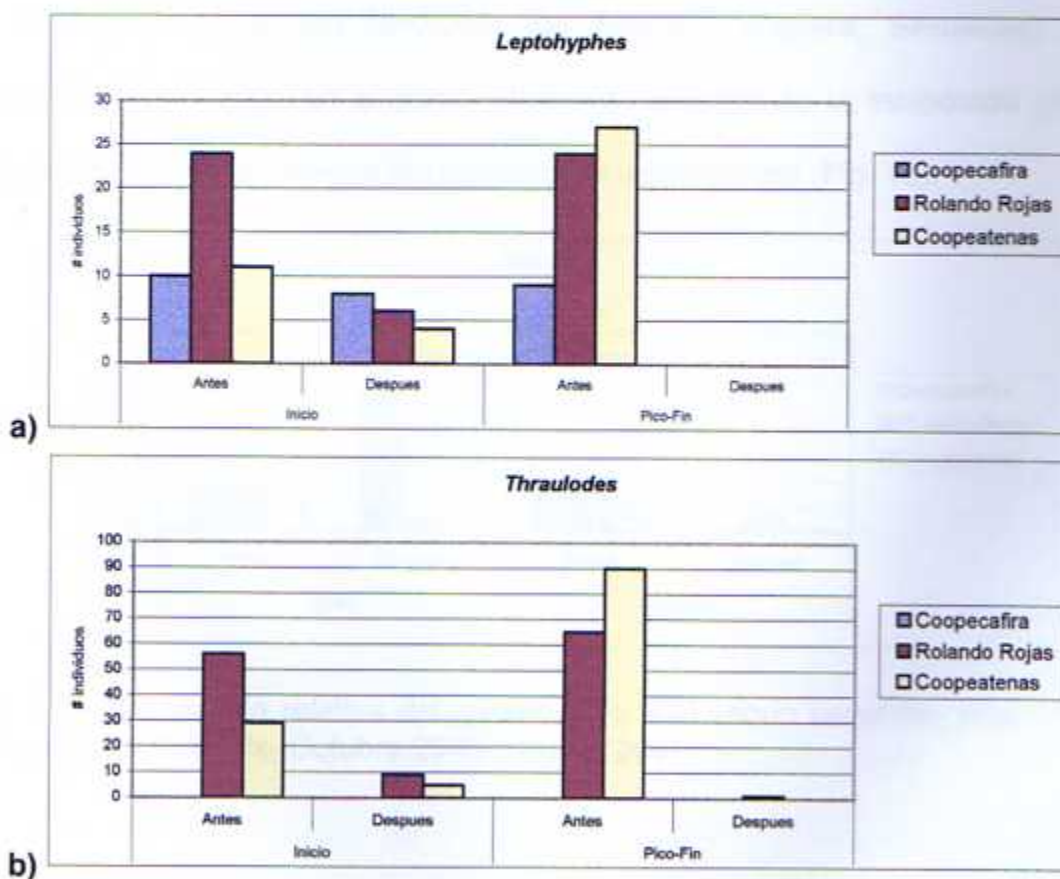


Fig. 14. Abundancia relativa de los géneros a) *Leptohyphes* y b) *Thraulodes* según beneficio, sitio y fecha del muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

En ambos casos se observó en el inicio de cosecha un efecto importante de los desechos orgánicos pues disminuyen ambos géneros entre "antes" y "después" para los tres beneficios. A nivel de familia Leptohyphidae resulta significativa por sitio y fecha (0.002, 0.02), y Leptophlebiidae por sitio (0.04). A nivel de orden los efemerópteros variaron significativamente según el punto de muestreo ($p=0.01$).

Otro género que tuvo una variación significativamente importante conforme la cosecha se desarrolló ($p=0.005$) fue *Simulium* (Diptera, Simuliidae) que presentó valores altos en el punto "después" al inicio de la temporada pero al llegar a pico-fin de la cosecha las poblaciones desaparecen (Fig. 15).

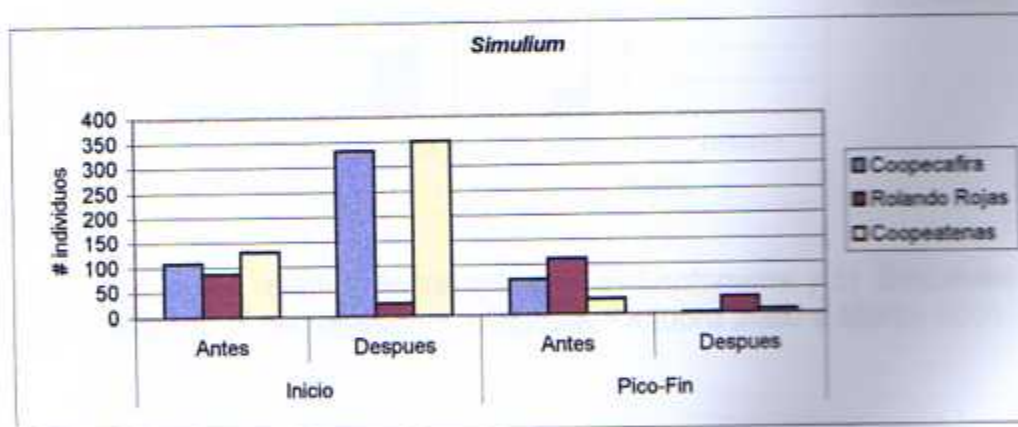


Fig. 15. Abundancia relativa del género *Simulium* según beneficio, sitio y fecha del muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

En el orden Trichoptera resaltan dos géneros de la familia Hydropsychidae significativos por efecto sitio y fecha (*Leptonema*) y por fecha (*Smicridea*) (Fig. 16).

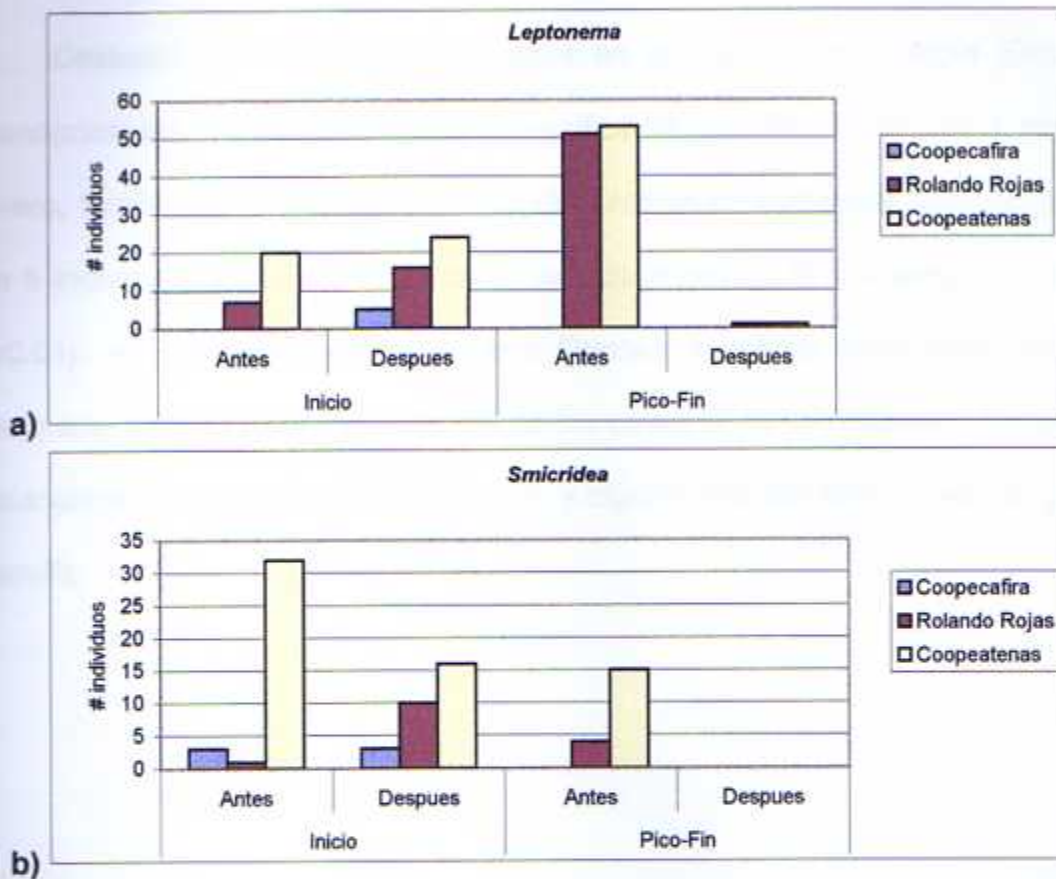


Fig. 16. Abundancia relativa de los géneros a) *Leptonema* y b) *Smicridea* según beneficio, sitio y fecha del muestreo. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

La familia mostró variaciones significativas a la combinación de los factores sitio y fecha ($p=0,05$). En ambos casos se observa como desaparecieron en el punto "después" del punto de descarga en el período de más actividad del beneficio. Para *Leptonema* se dió un aumento en las poblaciones en el sitio "antes" para Rolando Rojas y CoopeAtenas que contrasta con los valores

"después" del beneficio. En Coopecafira se observaron muy pocos individuos en el inicio y ninguno en el fin de la cosecha.

Destacan otros macroinvertebrados en el análisis como *Argia* (Odonata, Coenagrionidae) con 23 individuos y significativa por sitio y período a nivel de género, familia y orden ($p=0.03$). Además *Hetaerina* (Odonata, Calopterygidae) con 5 individuos y con significancia a nivel de género y familia según el período ($p=0.01$). Ambos contribuyen para que Odonata resultara significativo según el efecto sitio y fecha ($p=0.01$). Dentro de los coleópteros se observó a *Psephenus* (Coleoptera, Psephenidae) con 13 larvas y significativo por sitio a nivel de género y familia.

"después" del beneficio. En Coopecafira se observaron muy pocos individuos en el inicio y ninguno en el fin de la cosecha.

Destacan otros macroinvertebrados en el análisis como *Argia* (Odonata, Coenagrionidae) con 23 individuos y significativa por sitio y período a nivel de género, familia y orden ($p=0.03$). Además *Hetaerina* (Odonata, Calopterygidae) con 5 individuos y con significancia a nivel de género y familia según el período ($p=0.01$). Ambos contribuyen para que Odonata resultara significativo según el efecto sitio y fecha ($p=0.01$). Dentro de los coleópteros se observó a *Psephenus* (Coleoptera, Psephenidae) con 13 larvas y significativo por sitio a nivel de género y familia.

- **Índice biológico**

Los valores de calidad de agua variaron en un rango entre 7 en el sitio "después" en el pico de cosecha de CoopeAtenas y 130 en el "antes" del vertedero en final de cosecha de Rolando Rojas (Cuadro 2). El mayor valor corresponde a aguas más limpias mientras que los valores más bajos corresponden a aguas contaminadas (Anexo 1). Según ésta caracterización propuesta Coopecafira presentó aguas contaminadas durante todo el trabajo, con una disminución de calidad en el punto "antes" hasta llegar a valores de "muy a fuertemente contaminada" en el pico de la cosecha (Fig. 17a). Rolando Rojas (Fig. 17b) y CoopeAtenas (Fig. 17c) presentaron en el "antes" aguas prácticamente limpias durante todo el período, mientras que en el "después" disminuyó la calidad en pico de cosecha hasta alcanzar características de "fuertemente contaminada" en CoopeAtenas o "contaminada a muy contaminada" en Rolando Rojas. Rolando Rojas mantuvo éste comportamiento hasta finales de cosecha, mientras que CoopeAtenas se recuperó levemente aunque manteniéndose siempre entre "fuertemente y muy contaminada".

Se observó además el efecto de los desechos orgánicos de los dos beneficios de Atenas en el río Cacao y su capacidad de recuperación. En el primer punto de muestreo antes de pasar por Rolando Rojas el río presentó aguas "limpias" (129) pero luego de recibir las descargas orgánicas su calidad bajó hasta llegar a aguas "contaminadas a muy contaminadas" (40). En el trayecto antes de llegar a CoopeAtenas se logró recuperar hasta "limpias" nuevamente, aunque con

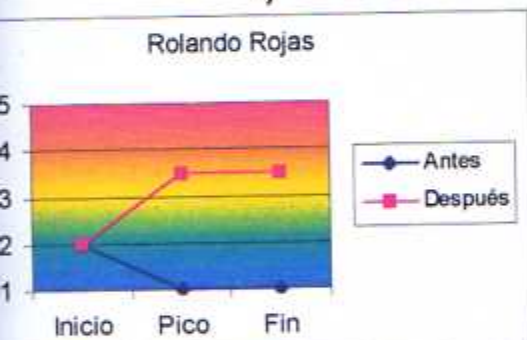
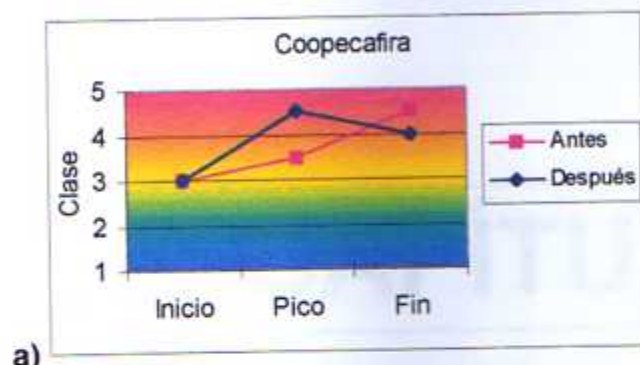
un valor menor al inicial (117), pero de nuevo los desechos hicieron que cayera a la categoría de "fuertemente contaminada" y al valor más bajo de todo el trabajo (7). En el fin de cosecha se observó el mismo comportamiento pues el río pasó de "limpio" (130) a "contaminado a muy contaminado" (40), luego a "limpio" de nuevo (103) antes de caer entre "muy contaminado" y "fuertemente contaminado" (16).



Al fin de cosecha se observó el mismo comportamiento pues el río pasó de "limpio" (130) a "contaminado a muy contaminado" (40), luego a "limpio" de nuevo (103) antes de caer entre "muy contaminado" y "fuertemente contaminado" (16).

Cuadro 2. Valores del índice B.M.W.P. modificados obtenidos para las muestras según beneficio, sitio y fecha. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

BENEFICIO	ANTES			DESPUES		
	Inicio	Pico	Fin	Inicio	Pico	Fin
Coopecafira	52	31	19	42	18	22
Rolando Rojas	92	129	130	70	40	40
CoopeAtenas	91	117	103	74	7	16



CLASE	ESTADO
V	Fuertemente Contaminadas
IV	Muy Contaminadas
III	Contaminadas
II	Algo Contaminadas
I	Limpias

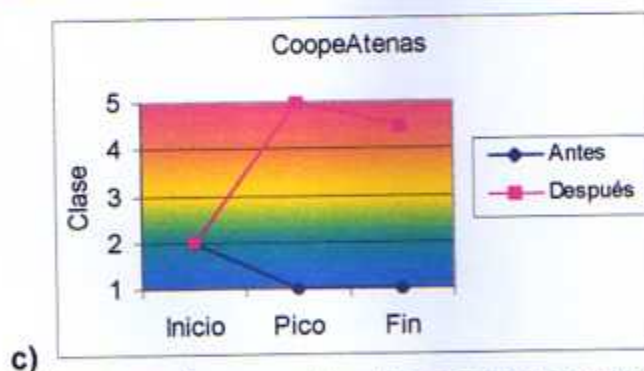


Fig. 17. Estado de los tres ríos muestreados según beneficio que los afecta a) Coopecafira, b) Rolando Rojas, c) CoopeAtenas, sitio y fecha del muestreo, utilizando el índice biológico B.M.W.P. modificado para Costa Rica. Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.



CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

• Datos físico-químicos

La disminución del caudal de los tres ríos se explica fácilmente si consideramos que el primer muestreo se realizó a finales de Octubre y el último a finales de Marzo. El trabajo corresponde al período de transición entre la época lluviosa y la seca y el inicio del verano, lo que trae consigo una disminución en las lluvias. Esto es un factor muy importante a considerar pues conforme aumenta la actividad en los beneficios se está dando una disminución en el caudal de los ríos. Debido a que los procesos de dilución son de gran importancia en la asimilación de desechos, los períodos largos de flujos bajos de agua (época seca) afectan la capacidad de los ríos de aceptar fuertes cargas de desecho sin sufrir daños (Astorga y Flowers, 1997).

El oxígeno disuelto no es un parámetro requerido por la ley aunque se sabe de su importancia pues prácticamente todos los organismos de ríos son sensibles a las concentraciones de oxígeno. La contaminación orgánica como la asociada con las descargas de plantas de tratamiento municipales o desechos industriales, puede reducir significativamente las concentraciones de oxígeno disuelto (Hauer y Hill, 1996). Estas disminuciones van a tener un efecto importante en la composición de las comunidades. Según Astorga y Flowers (1997) los límites mínimos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para la vida saludable de las poblaciones de peces es de 5 mg/L. En los ríos muestreados se observó una disminución en todos los beneficios hasta llegar a niveles cercanos a 5 mg/L para finales de cosecha.

Estos valores corresponden al punto exacto de descarga donde se está dando una mezcla con el agua del río y una turbulencia adicional por el ingreso de los desechos líquidos. A partir de éste punto el oxígeno disuelto va a disminuir por el efecto del contaminante (Branco, 1984; Kolff, 2002) por lo que los valores de oxígeno para el punto "después" van a ser aún menores a los observados.

Los resultados de los análisis llevados a cabo por los laboratorios encargados muestran que desde el punto de vista legal el tratamiento que se le está dando a las aguas residuales en los beneficios está siendo satisfactorio, pues los valores cumplen con los máximos establecidos en el "Reglamento para uso y vertido de aguas residuales". Los límites requeridos por ley son para pH: 5 a 9, DQO: 1500 mg O₂/l, DBO₅: 1000 mg O₂/l, sólidos sedimentables: 1 ml/L, grasas y aceites: 30 mg/L y temperaturas entre 15 y 40°C (Figueres et al, 1997). En algún momento de la cosecha se obtuvieron valores por encima de los límites permitidos, como el DQO en pico de cosecha en Coopecafira y CoopeAtenas o el DBO₅ de CoopeAtenas, pero no se reporta ninguna acción correctiva y los valores vuelven a caer dentro de los rangos permitidos para el siguiente muestreo realizado. En el caso de los sólidos sedimentables que se dan en inicio de cosecha en Rolando Rojas, el CICAPE reporta como nota aclaratoria la presencia de lirios acuáticos microscópicos suspendidos (*Lemna* sp.) como causante del valor alto e informa de la acción correctiva para subsanar el problema que fue la remoción de los lirios y de cualquier otro sobrenadante presente en las lagunas.

En términos generales y considerando los resultados físico-químicos obtenidos podríamos afirmar que los desechos orgánicos que los beneficios

vierten en los ríos se encuentran dentro del marco legal y no deberían ocasionar ningún efecto negativo. A pesar de esto, se observaron en los puntos de muestreo signos claros de que los vertidos si están afectando a los ríos (Anexo 3). Los efluentes de las lagunas presentan una coloración oscura, un fuerte olor y la presencia incluso de residuos sólidos del café que afectan no sólo las aguas sino a todo el área de influencia directa de los ríos. Uno de los grandes problemas de la metodología utilizada por parte de los laboratorios acreditados es que las muestras se toman solamente antes de que los efluentes lleguen al río. De ésta manera no se le está dando importancia al caudal del río en el que se vierten las aguas tratadas. La capacidad de asimilación de desechos vertidos que puede tener un río depende en gran medida de su caudal pues se va a dar una dilución más rápida en un río grande y de aguas turbulentas, mientras que un riachuelo requerirá de más tiempo para poder eliminar ese desecho (Umaña, com. pers.). Además según Astorga y Flowers (1997) hay que agregar el efecto de la época seca y la disminución de todos los caudales en general, que dificulta aún más que se dé una dilución de manera efectiva. Estos son factores muy importante que no están siendo considerados por las leyes actuales.

- **Muestreo biológico**

Los dípteros acuáticos son uno de los órdenes de insectos más abundantes, y ampliamente distribuidos en todo el mundo (Roldán, 1988; de la Hoz, 2000). Esto explica en parte su dominancia en la muestra. Además Ephemeroptera y Trichoptera son comúnmente encontrados en porcentajes altos en zonas con mejores condiciones ecológicas (Posada et al, 2000), lo que contribuye también para que esos órdenes presenten abundancia relativa importante en relación con otros grupos. A nivel de familia también Chironomidae es reconocido por su gran abundancia, amplia diversidad y presencia en la mayoría de los ecosistemas acuáticos continentales (Oliver, 1971; Ospina, 1995; Marques et al, 1999). Las abundancias observadas a nivel de orden y familia se entienden mejor al observar los géneros que resultaron más abundantes. Entre los tres primeros géneros, encontramos a dos representantes de la familia Chironomidae (*Chironomus* y *Polypedilum*). El otro género muy abundante es *Simulium*, único representante de la familia Simuliidae, perteneciente también al orden Diptera.

Los resultados que se observan de aumento en la abundancia relativa de macroinvertebrados en el sitio "antes" de la descarga con un punto máximo en el pico de cosecha podría deberse en parte al período de transición de invierno a verano que trae consigo un aumento general en los organismos según observaron Astorga y Flowers (1997) en su trabajo en Guanacaste, y que incluso puede mantenerse durante la época seca (Springer, com. pers.). La mayor abundancia que se da entre fechas e incluso entre beneficios en el punto "después" de la

descarga y el aumento progresivo desde el inicio hasta el fin de la cosecha se debe al aumento en la densidad del díptero *Chironomus*. Este mismo comportamiento ha sido reportado por Marques et al (1999) y otros autores brasileños asociado al aumento en las condiciones eutróficas que no sólo propician la presencia del género sino que lo convierten en dominante. En Coopecafira no se observan diferencias en la abundancia para ambos sitios debido a que el río Grande se ve afectado de manera importante por la contaminación que se da aguas arriba. La presencia de otras industrias que depositan sus desechos en sus aguas kilómetros antes de que pase por Coopecafira ocasiona que no se note un efecto de la descarga orgánica del beneficio en la abundancia relativa de macroinvertebrados.

La riqueza taxonómica generalmente decrece con la disminución en la calidad del agua. El número de individuos puede aumentar o disminuir dependiendo del tipo de contaminación y los organismos presentes. (Norris y Georges, 1993; Resh y Jackson, 1993). En este caso observamos como disminuyen las taxa en el sitio "después" para los tres beneficios y los tres períodos de muestreo, excepto en el inicio de cosecha donde el efecto del contaminante todavía no se está traduciendo en disminución de la riqueza..

La diversidad de organismos (H') en Coopecafira se comporta de manera diferente a como lo hace en los dos beneficios de Atenas, por el efecto que tiene la contaminación que trae el río Grande. A pesar de esto siempre se observa el efecto del beneficio pues hay una disminución en pico y fin y una menor diversidad durante toda la cosecha en el punto "después". En el caso de Rolando Rojas y

CoopeAtenas el río Cacao presenta muy poca influencia de otras fuentes de contaminación al menos en el tramo que corresponde a los dos beneficios. Por esta razón se espera mayor diversidad y baja dominancia en la zona de aguas limpias y de baja carga orgánica (Zúñiga et al, 1993; Posada et al, 2000). En los dos puntos "antes" se mantiene la diversidad o se incrementa levemente durante el período en estudio. Por el contrario en el punto "después" la diversidad al igual que la riqueza se está viendo afectada por la descarga orgánica hasta llegar a su punto más bajo precisamente en el período de mayor actividad del beneficio. Éste mismo efecto fue reportado por Álvarez (1993) en la diversidad de los sitios de muestreo antes y después del Beneficio de Café La Meseta en San Vito. También hay que resaltar lo similares que son el pico y el fin de la cosecha si comparamos riqueza y diversidad por el efecto del contaminante mientras que el inicio de cosecha es siempre muy diferente a cualquiera de las otras fechas.

Las causas de las disminuciones en la diversidad se pueden observar claramente incluso a nivel de órdenes. Se está creando un desbalance en las proporciones pues disminuyen los grupos sensibles como Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, mientras que un solo orden (Diptera) aumenta hasta constituirse prácticamente en la totalidad de la muestra. Una comunidad dominada por relativamente pocas especies va a indicar estrés ambiental y la contribución de un alto porcentaje por un solo taxón indica un desbalance en la comunidad (Resh y Jackson, 1993).

Los resultados obtenidos en los análisis de similitud muestran de manera clara no sólo las diferencias que se observan entre los sitios "antes" y "después"

en cuanto a composición y abundancia, sino que también las diferencias entre las muestras tomadas en inicio de cosecha y el pico y fin de la cosecha cuando ya el efecto de los desechos orgánicos se está dando plenamente. Además encontramos pico y fin de cosecha muy similares para los tres beneficios debido a que el muestreo de fin de cosecha se realiza el día en que se cierra la segunda laguna y detiene la salida del efluente de manera definitiva. Esto significa que aunque se ha detenido el ingreso de desechos al río, no ha pasado el tiempo requerido como para que empiece a recuperarse de la carga constante que ha recibido por los últimos meses. Coopecafira presenta un comportamiento diferente a los otros beneficios por la carga contaminante que presenta el río Grande aún antes del punto de descarga. Por otro lado, Rolando Rojas en "antes" y en inicio de cosecha tiende a separarse un poco de los otros beneficios porque representa el sitio de aguas más limpias de los tres muestreados. El río Cacao después de pasar por Rolando Rojas recibe la entrada de dos quebradas pequeñas (Hayas y Morazán) en su trayecto de aproximadamente 700-800 m antes de pasar por CoopeAtenas, lo que contribuye a la purificación del agua y la recolonización por parte de nuevas especies. Sin embargo, ésta recuperación no se llega a dar a un 100% por lo que las aguas de CoopeAtenas no llegan a los niveles que presenta Rolando Rojas en los sitios "antes" del beneficio.

- **Indicadores de contaminación**

Resaltaron en este trabajo diez géneros por su sensibilidad a la contaminación orgánica de los beneficios de café (Anexo 4). De éstos organismos el más importante es el díptero del género *Chironomus*, que pertenece a una familia ampliamente reconocida y utilizada como organismos indicadores debido a su alta tolerancia y su gran abundancia (Zúñiga et al, 1993; Johnson et al, 1993; Mandaville, 1999). La capacidad indicadora de *Chironomus* quedó confirmada pues éste nunca aparece en las muestras de los sitios localizados "antes" del punto de descarga orgánica de los beneficios. La única excepción se da en Coopecafira debido a que el río Grande presentaba contaminación aguas arriba. Para el inicio de la cosecha aparecen unos cuantos individuos en el sitio "después" por el efecto de un día o dos de descargas. A partir de ahí se da un aumento explosivo para pico y fin donde llega a alcanzar hasta 840 individuos en pico de cosecha de CoopeAtenas. Marques et al (1999) de la misma manera describen para un trabajo en Brasil un aumento significativo en la abundancia de *Chironomus* como respuesta al enriquecimiento orgánico y al deterioro de la calidad de agua. Se convierte en el género dominante de la muestra y su influencia se observa también a nivel de familia e incluso de orden. En nuestro país se había reportado éste mismo comportamiento en un trabajo realizado por Álvarez (1996) en el río Jaba en Coto Brus donde se dió un aumento de más del doble en el número de quironómidos en dos puntos de muestreo localizados antes y después de un beneficio de café. Así mismo, en el río Ojo de Agua en Belén (Fernández, sin publ.) también *Chironomus* aumenta de 0 a 44 individuos.

os datos obtenidos de la significancia de *Chironomus* resultan sumamente
posos pues una de las interrogantes que especialistas han analizado en muchas
siones es la importancia o no de la identificación de las muestras al nivel más
o posible. Resh y McElravy (1993) resumen las opiniones de muchos autores
avor de llegar a nivel de especie y de otros tantos que consideran que a nivel de
nilia y orden se podría trabajar según el objetivo del estudio. En este trabajo se
serva lo evidente que puede ser el género *Chironomus* a la hora de determinar
calidad del agua, efecto que no parece darse en otros géneros de la familia. Al
specto Marques et al (1999) concluyeron que en los puntos de muestreo más
ntaminados era donde existía la menor riqueza de quironómidos, y que
minaba el género *Chironomus*, al que definieron como el único que podía
nsiderarse un indicador confiable de la calidad del agua. Otro aspecto muy
portante de analizar a la hora de trabajar con insectos acuáticos en estudios de
indicación es el factor tiempo. Aunque el género *Chironomus* resulta
lativamente fácil de identificar, el resto de los géneros requieren de una gran
versión de tiempo al punto que no se incluyen en muchos estudios de
ntaminación por el tedioso trabajo requerido en el procesamiento de las
uestras y la identificación (Johnson et al, 1993). Se requiere trabajar no sólo en
bservación al estereoscopio sino también en preparación de larvas, montaje en
áminas, observación al microscopio y consultas con especialistas extranjeros,
omo mínimo. Aún así, no se puede asegurar que las identificaciones se van a
oder realizar hasta el nivel requerido pues como comentaba el Dr. Epler,
especialista en Chironomidae (com. pers.), "no me voy a arriesgar a identificar un

género sin haber visto las pupas y los adultos asociados primero". Al final se invierte una gran cantidad de tiempo y esfuerzo en identificación de larvas sin ningún potencial como indicadoras. Al respecto, Díaz-Martínez (1997) en un trabajo sobre taxonomía y bioindicación presenta dos conclusiones muy valiosas: a) el hecho de que una categoría taxonómica superior se presente como indicadora de algún tipo particular de contaminante, no implica necesariamente que todos los taxa inferiores de ésta categoría sean indicadores del mismo, y b) si un nivel superior se muestra como bioindicador y varios de sus taxa inferiores muestran la misma condición, éste puede ser utilizado como indicador de cambios en esos factores sin necesidad de recurrir a la identificación de las categorías taxonómicas inferiores, una vez establecida ésta condición.

En éste estudio se observó como dentro de la familia Ephemeroptera el género *Baetodes* resulta ser el más importante como indicador. Roldán (1988) lo considera un importante indicador de aguas limpias, por lo que el efecto de los contaminantes orgánicos es contrario al que se observa para los quironómidos. Disminuyó entre el "antes" y el "después" al inicio de la cosecha probablemente afectado por el inicio de las descargas orgánicas y desapareció al aumentar la cantidad de desechos. Los otros dos géneros importantes para este estudio dentro de los efemerópteros son *Leptohyphes* y *Thraulodes*. El primero es indicador de aguas limpias o ligeramente contaminadas mientras que el otro está presente solamente en aguas limpias (Roldán, 1988; Sandoval y Molina, 2000). Ambos ya se ven afectados por los primeros días de vertido de desechos y al llegar al pico-fin de la cosecha desaparecen. En los puntos "antes" para ambos se

ve como las poblaciones se mantienen con el tiempo incluso mostrándose un ligero aumento lo que nos demuestra la situación en que deberían estar sus poblaciones en condiciones ideales sin los desechos orgánicos vertidos por los beneficios. Esta sensibilidad del género *Leptohyphes* se observó también en los trabajos en San Rafael de Ojo de Agua (Fernández, sin publ.), con disminuciones de 93 a 4 individuos y en Coto Brus (Alvarez, 1996) que reportó una baja de 14 a 0 individuos. La influencia de ambos géneros en sus familias (Leptohyphidae y Leptophlebiidae respectivamente) las vuelve también significativas, y esto sumado al peso que ejerce también *Baetodes* contribuye para que a nivel de orden Ephemeroptera resulte también significativo. En términos generales los efemerópteros, junto a los tricópteros son ampliamente reconocidos por su sensibilidad a la mayoría de tipos de contaminación, por lo que el número de individuos de éstos órdenes van a disminuir con el deterioro de la calidad del agua (Roldán, 1988; Norris y Georges, 1993; Zúñiga et al, 1993; Posada et al, 2000; Sandoval y Molina, 2000).

El segundo género más abundante del estudio y el otro género de los dípteros que resultó significativo es *Simulium* que es reconocido por ser intolerante a la contaminación orgánica (Roldán, 1988; Sandoval y Molina, 2000). El aumento bastante significativo que se da para Coopecafira y CoopeAtenas en los primeros días de la cosecha en el sitio "después" se debe a su tendencia a congregarse en hábitats de vertidos, donde buscan aguas ricas en nutrientes (Merritt y Wallace, 1981). Este comportamiento fue reportado también por Travis y Vargas (1978) en su trabajo en tres ríos de Costa Rica donde observaron entre

otras cosas como la contaminación sólida de los beneficios de café eliminaba las poblaciones debido a que los desechos sólidos y partículas bloqueaban las cerdas de sus bocas impidiéndoles alimentarse. Pero conforme el desecho sólido empezaba a diluirse, o cuando los desechos eran líquidos, las poblaciones aumentaban hasta volverse excesivamente grandes como resultado del ingreso de nutrientes nuevos al ambiente.

Si el ingreso de desechos orgánicos continúa se vuelve imposible para las larvas poder filtrar y por ende sus poblaciones desaparecen también. Esto es lo que se observa para ambos beneficios.

Los tricópteros más representativos en este trabajo son los géneros *Leptonema* y *Smicridea*, considerados como de gran adaptabilidad por Roldán (1988) y Sandoval y Molina (2000). Al igual que con los simúlidos, ambos se alimentan filtrando por lo que requieren de aguas limpias, oxigenadas y de buena corriente. Por esto se mantienen los primeros días de vertido con poblaciones muy similares pero al aumentar el efecto desaparecen de los sitios "después". Su abundancia en la muestra total contribuye para que su familia (Hydropsychidae) también resultara sensible a los contaminantes orgánicos.

El orden de los odonatos en general es reconocido por ser representante de aguas limpias a ligeramente contaminadas (Roldán, 1988). Por esto a pesar de su poca abundancia en la muestra, *Argia* y *Hetaerina* resaltaron por su efecto ante los desechos orgánicos. Sucede lo mismo con el coleóptero *Psephenus*, reconocido como intolerante a la contaminación orgánica (Sandoval y Molina, 2000).

- **Índice biológico**

Este método resulta ser una herramienta útil que en otros países como España ha sido implementada por la Sociedad Española de Limnología para sus estudios de calidad de aguas (Zamora-Muñoz y Alba-Tercedor, 1996). La aplicación del índice confirmó las tendencias que ya se habían observado con los otros análisis en cuanto al estado de los ríos. Coopecafira presentó un efecto importante de otra fuente de contaminación y sus aguas se mantuvieron contaminadas durante todo el periodo en estudio. Además se dio una disminución en la calidad del agua en el punto "antes" que debería ser el más limpio. En Rolando Rojas y CoopeAtenas en el punto "antes" las aguas se mantuvieron limpias mientras que en punto "después" el pico de cosecha afectó a ambos ocasionando incluso que se dieran valores de "fuertemente contaminadas". El índice también mostró como la capacidad de recuperación del río Cacao disminuyó conforme pasaba la cosecha. En el pico de cosecha logró recuperarse a categoría de limpias en tan sólo 24 horas que fue el tiempo transcurrido entre los muestreos. En el fin de la cosecha pasó también de muy contaminada a casi limpia aunque entre ambas muestras hubo un lapso de mes y medio. Además en ninguno de los casos se logró alcanzar los mismos valores de "limpia" que se dieron antes de Rolando Rojas incluso luego de mes y medio de recuperación y en ambos casos también se cayó a valores más bajos que los que se habían presentado después de la primera descarga orgánica.



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se comprobó que la población de insectos acuáticos resulta ser un importante indicador de la calidad de las aguas y una herramienta útil para futuros trabajos. La diversidad de los insectos acuáticos en los sitios que reciben contaminación orgánica proveniente de beneficios disminuye y su abundancia aumenta debido a que desaparecen una serie de insectos sensibles y aparecen unos pocos tolerantes a la contaminación que aprovechan el recurso disponible y aumentan en sus poblaciones. Además se observó una diferenciación muy clara en la composición de la fauna de los sitios localizados "antes" del punto de descarga y "después" de éste. Mientras que en los sitios "antes" se mantiene la composición a través del tiempo en los sitios "después" se presentan grandes cambios que llegan a un punto máximo en el período considerado como el de más actividad del beneficio.

El género *Chironomus* resultó ser el más importante como indicador biológico de calidad del agua pues su población aumenta drásticamente en condiciones de poco oxígeno mientras que en condiciones normales del río se encuentra ausente. Su identificación a nivel de género es necesaria para poder distinguirlo de los otros géneros de la familia que no presentaron características de indicadores. Para futuros trabajos hay que considerar si es importante la inversión de tiempo y esfuerzo para la identificación a nivel de género de los demás miembros de la familia. Esto debido a que en casos de contaminación orgánica va a resultar evidente el efecto de *Chironomus* no sólo a nivel de género,

o también a nivel de familia e incluso de orden. En caso de que se requiera la identificación de todas las larvas de quironómidos entonces se recomienda no sólo colecta sino también el cultivo de las larvas para poder obtener pupas y adultos asociados que van a facilitar la identificación a nivel de género y especie. Otros géneros que resultaron importantes como indicadores debido a su sensibilidad a los cambios que se dan en la calidad de los ríos estudiados son: *Baetodes*, *Leptohyphes*, *Thraulodes*, *Leptonema*, *Smicridea*, *Simulium*, *Psephenus*, *Argia* y *Metatetraneura*. También en algunos casos se podrían utilizar categorías superiores como bioindicadoras pero solamente restringido a condiciones determinadas pues de ningún modo se puede generalizar.

El índice biológico B.M.W.P. adaptado para Costa Rica por Mónica Springer es una herramienta importante pues nos muestra un método sencillo y rápido de análisis que puede resultar efectivo para conocer el estado de los ríos según la presencia de insectos acuáticos. Vale la pena realizar más pruebas con éste índice en distintos sitios de Costa Rica y con distintos contaminantes para corroborar lo observado y validar el método. Los índices bióticos son uno de muchos tipos de mediciones utilizadas de manera rutinaria en el monitoreo biológico. La mayoría de los trabajos en la actualidad dependen de varias medidas de la estructura y función de la comunidad como son: riqueza, abundancia, diversidad, similitud, grupos funcionales. Por esto, aunque el índice biótico es un componente importante y comúnmente utilizado en los programas de monitoreo, resulta mucho más valioso utilizarlo junto a varias distintas medidas para obtener así una visión más global del estado de las poblaciones.

Los resultados obtenidos en cuanto a muestreo físico-químico indican que los parámetros establecidos por la ley para el control de la calidad de los vertidos de la industria del café no están siendo suficientes para detectar cambios en las comunidades que si se observan con el análisis biológico. Se está dando un efecto muy importante en las poblaciones durante el período de cosecha que no es detectado por las pruebas realizadas por los laboratorios ocasionando el deterioro de los ríos y sus comunidades. Es necesario analizar lo antes posible si los valores límites establecidos son los adecuados o si es necesario tener límites más bajos y rangos menores. Se deben valorar medidas alternativas como modificar el sitio de toma de muestra de los laboratorios o agregar un punto más de muestreo río abajo del sitio de descarga, de manera que se considere el efecto real que los vertidos van a tener dependiendo del nivel de caudal que presente este río. También se podrían adaptar los valores máximos de manera que varíen dependiendo del caudal que va a recibir la descarga.

Finalmente, resulta interesante como alternativas para futuros trabajos realizar las mediciones de oxígeno disuelto en los mismos puntos donde se realiza el muestreo de macroinvertebrados para conocer mejor el estado de las aguas en éstos puntos específicamente. También realizar el análisis del estado del río durante todo el año y no solamente durante el período de cosecha para conocer si se observa algún tipo de recuperación en las condiciones del río y cuanto tiempo toma. Así mismo, se pueden considerar incluir varios puntos de muestreo río abajo para observar también la recuperación o efecto de auto depuración.



LITERATURA CITADA

LITERATURA CITADA

- Alba-Tercedor, J. 1996. **Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos.** IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almería. Vol. II: 203-213.
- Álvarez, J. 1996. **Utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.** Río Jaba, Cantón de Coto Brus, Costa Rica. Memorias Curso Agroecología, OET 7-96. Costa Rica. 17p.
- Anónimo, 1982. **Costa Rica: Programa de Control de la Contaminación de Aguas.** Programa Nacional de Saneamiento Ambiental Ministerio de Salud. San José, Costa Rica. p. 47.
- Anónimo, 1991. **Cuajiniquil: mapa físico.** Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional. Esc.: 1:10,000, color.
- _____. **San Ramón: mapa físico.** Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional. Esc.: 1:10,000, color.
- Anónimo, 1993. **Capítulo 11. Agua Dulce.** p.185-202. En: **Recursos Mundiales 1992-1993.** Informe del Instituto de Recursos Mundiales. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Anónimo, 1998. **Guidelines on water quality monitoring and assessment of transboundary river guidelines.** Water Convention. Organización de las Naciones Unidas / Comisión Económica Europea.
http://biog-101-104.bio.comell.edu/BioG101_104/explorations/programs/56.html
- Anónimo, 2000. **Costa Rica. Una mano al Río Tárcoles.** Comisión Interinstitucional de la Cuenca Virilla-Tárcoles y Laboratorio de Aguas de Acueductos y Alcantarillados. En: **El Beneficiado Ecológico del Café.** Suplemento Especial del Instituto del Café de Costa Rica. La Nación: Lunes 28 de agosto del 2000. Costa Rica. 12 p.
- Astorga, Y. y Coto, J. 1996. **Situación de los recursos hídricos en Costa Rica.** p. 131. En: Reynolds, J. (ed) 1996. **Utilización y manejo sostenible de los recursos hídricos.** Efun. Heredia, Costa Rica.
- Astorga, Y. y Flowers, W. 1997. **Desarrollo de un Índice Biológico para Centro América.** Centro de Investigación en Contaminación Acuática, Universidad de Costa Rica. 29 p.

- Branco, S. M. 1984. **Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales**. Secretaría General de la OEA. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía 28 Serie Biología. Washington D.C. 120 p.
- Charpentier, C. y Tabash, F. 1988. **Variaciones en la diversidad de la comunidad bentónica del sedimento: Un indicador biológico del estado de contaminación de los ríos de la subregión de Heredia, Costa Rica**. Uniciencia 5(1-2): 69-76.
- Chow, V.T., Maidment, D. y Mays, L.W. 1994. **Hidrología Aplicada**. McGraw Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia. p. 34-36.
- De la Lanza, G. 2000. **Criterios generales para la elección de bioindicadores**. p. 17. En: De la Lanza, G., Hernández, S. y Carbajal, J.L. (eds.) 2000. **Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)**. Plaza y Valdes, S.A. México. 663 p.
- Danse, M. y Bolaños, F. 2002. **Reconversión del beneficiado de café en procura de la sostenibilidad**. Ambientico N° 101, 10-12.
- Díaz-Martínez, J. A. 1997. **Efecto del nivel de resolución taxonómico sobre la determinación de bioindicadores en estudios de impacto ambiental**. p. 183. En: Rincón et al. (Eds.) 1997. **Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales**. Memorias. Colombia. 211 p.
- Fiatt, M. 1994. **Uso del agua y disposición de aguas residuales en el Beneficio Río Grande**. Tesis Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 88p.
- Figueres, J. M., Weinstock, H. y Castro, R. 1997. Costa Rica. **Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales**. Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE. Diario Oficial La Gaceta 14 de abril de 1997 24 p.
- Hauer, F.R. y Hill, W.R. 1996. **Temperature, Light and Oxygen**. p. 93. En: Hauer, F.R. y Lamberti, G.A. (eds.) 1996. **Methods in Stream Ecology**. Academic Press, Inc. San Diego, California. E.U.A. 674 p.
- Hutchinson, G. E. 1993. **A Treatise on Limnology. Vol. IV, The Zoobenthos**. Ed. Y.H. Edmondson. John Wiley & Sons, Inc. En: **Freshwater Benthic Ecology and Aquatic Entomology Homepage**. S. M. Mandaville (Cord). Darmouth, Nova Scotia Canadá.
<http://www.chebucto.ns.ca/Science/SWCS/xiii.html>

- anco, S. M. 1984. **Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales**. Secretaría General de la OEA. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía 28 Serie Biología. Washington D.C. 120 p.
- harpentier, C. y Tabash, F. 1988. **Variaciones en la diversidad de la comunidad bentónica del sedimento: Un indicador biológico del estado de contaminación de los ríos de la subregión de Heredia, Costa Rica**. Uniciencia 5(1-2): 69-76.
- how, V.T., Maidment, D. y Mays, L.W. 1994. **Hidrología Aplicada**. McGraw Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia. p. 34-36.
- e la Lanza, G. 2000. **Criterios generales para la elección de bioindicadores**. p. 17. En: De la Lanza, G., Hernández, S. y Carbajal, J.L. (eds.) 2000. **Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)**. Plaza y Valdes, S.A. México. 663 p.
- Danse, M. y Bolaños, F. 2002. **Reconversión del beneficiado de café en procura de la sostenibilidad**. Ambientico N° 101, 10-12.
- Díaz-Martínez, J. A. 1997. **Efecto del nivel de resolución taxonómico sobre la determinación de bioindicadores en estudios de impacto ambiental**. p. 183. En: Rincón et al. (Eds.) 1997. **Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales**. Memorias. Colombia. 211 p.
- Fiatt, M. 1994. **Uso del agua y disposición de aguas residuales en el Beneficio Río Grande**. Tesis Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 88p.
- Figueres, J. M., Weinstock, H. y Castro, R. 1997. Costa Rica. **Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales**. Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE. Diario Oficial La Gaceta 14 de abril de 1997 24 p.
- Hauer, F.R. y Hill, W.R. 1996. **Temperature, Light and Oxygen**. p. 93. En : Hauer, F.R. y Lamberti, G.A. (eds.) 1996. **Methods in Stream Ecology**. Academic Press, Inc. San Diego, California. E.U.A. 674 p.
- Hutchinson, G. E. 1993. **A Treatise on Limnology. Vol. IV, The Zoobenthos**. Ed. Y.H. Edmondson. John Wiley & Sons, Inc. En: **Freshwater Benthic Ecology and Aquatic Entomology Homepage**. S. M. Mandaville (Cord). Darmouth, Nova Scotia Canadá.
<http://www.chebucto.ns.ca/Science/SWCS/xiii.html>

- Johnson, R., Wiederholm, T. y Rosenberg, D. 1993. **Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates.** p. 234-286. En: D.M. Rosenberg y V.H. Resh (eds). **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** Chapman and Hall, Nueva York, E.U.A.
- Kalff, I. 2002. **Limnology.** Prentice Hall, New Jersey. 529 p.
- Krebs, C. J. 1998. **Ecological methodology.** Benjamin / Cummings. Menlo Park, Canadá. p. 444.
- Mandaville, S.M. 1999. **Bioassessment of Freshwaters Using Benthic Macroinvertebrates - A Primer.** First Ed. Capítulos HI-XXVII. En: **Freshwater Benthic Ecology and Aquatic Entomology Homepage.** S. M. Mandaville (Cord). Darmouth, Nova Scotia, Canadá. <http://www.chebucto.ns.ca/Science/SWCS/xiii.html>
- Marín, M. 1973. **Variación en la densidad de algunos invertebrados acuáticos en el campus de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.** Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología. San José, Costa Rica. 94 p.
- Marques, M.M.G.S.M., Barbosa, F.A.R. y Callisto, M. 1999. **Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in south-east Brazil.** Rev. Brasil. Biol., 59(4): 553-561.
- Mata, A. 1982. **La contaminación ambiental.** Tecnología en marcha. Vol. 5(1)(2): 9-15.
- Merritt, R.W. y Cummins K.W. (eds.), 1996. **An Introduction to the Aquatic Insects of North America.** Kendall / Hunt Publ., Dubuque, Iowa. 862p.
- _____ y Wallace, J. B. 1981. **Insectos filtradores.** Investigación y Ciencia. Junio, 1981. p. 94-102.
- Norris, R. y Georges, A. 1993. **Analysis and Interpretation of benthic macroinvertebrate surveys.** p. 234-286. En: D.M. Rosenberg y V.H. Resh (eds.). 1993. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** Chapman & Hall, Nueva York, E.U.A.
- Oliver, D. R. 1971. **Life history of the Chironomidae.** Ann. Rev. Entomol. 16: 211-225.

- Ospina, R. 1995. Chironomidae (Diptera). p. 75-84. En: Seminario Invertebrados Acuáticos y su utilización en Estudios Ambientales. Editora Guadalupe Ltda. Bogotá, Colombia.
- Paaby, P., Ramirez, A. y Pringle, C. 1998. The benthic macroinvertebrate community in Caribbean Costa Rican streams and the effect of two sampling methods. *Rev. Biol. Trop.* 46 Supl.6: 185-199.
- Posada, J. A., Roldán, G. y Ramírez, J. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas en la cuenca Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 48(1): 59-70.
- Ramirez, A., Paaby, P., Pringle, C. y Agüero, G. 1998. Effect of habitat type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical streams, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 Supl.6: 201-213.
- Resh, V., Myers, M. y Hannaford, M. 1996. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. p. 647. En: Hauer, F.R. y Lamberti, G.A. (eds.) 1996. *Methods in stream Ecology*. Academic Press, Inc. San Diego, California. E.U.A. 674 p.
- Resh, V. y Jackson, J. 1993. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. p. 195-233. En: D.M. Rosenberg y V.H. Resh (eds.). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, Nueva York, E.U.A.
- Resh, V. y McElravy, E. 1993. Contemporary quantitative approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. p. 159-194. En: D.M. Rosenberg y V.H. Resh (eds.). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, Nueva York, E.U.A.
- Rodriguez, A. 2000. Como se controla la calidad del agua que llega a los rios. p. 10. En: *El Beneficiado Ecológico del Café*. Suplemento Especial del Instituto del Café de Costa Rica. La Nación: Lunes 28 de Agosto del 2000. Costa Rica.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN, Medellín, Colombia. 217 p.
1997. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. En: Rincón et al. (Eds.) 1997. *Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Memorias. Colombia. 211 p.

- Roldán, M. 1996. **Evaluación y análisis del sistema de tratamiento primario de las aguas residuales de los beneficios de café "La Rivera" y "San Antonio"**. Tesis en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p. 8.
- Rosenberg, D. M. 1998. **A National Aquatic Ecosystem Health Program for Canada: we should go against the flow**. Bull. Entomol. Soc. Can. 1998. 30(4):144-152. En: **Freshwater Benthic Ecology and Aquatic Entomology Homepage**. S.M. Mandaville (Cord). Darmouth, Nova Scotia, Canadá. <http://www.chebucto.ns.ca/Science/SWCS/xiii.html>
- Rosenberg, D. y Resh, V. 1996. **Use of Aquatic Insects in biomonitoring**. p. 87-97. En: Merritt & Cummins (eds.). **An Introduction to the Aquatic Insects of North America**. Kendall / Hunt Publ., Iowa, E.U.A.
- _____. 1993. **Introduction to Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. p. 2. En: D.M. Rosenberg y V.H. Resh (eds.). **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. Chapman and Hall. Nueva York, E.U.A.
- Sandoval, J.C. y Molina, I. 2000. **Insectos**. p. 405. En: De la Lanza, G., Hernández, S. y Carbajal, J. L. (eds.) 2000. **Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)**. Plaza y Valdes, S.A. México. 663 p.
- Springer, M. 1998. **Genera of aquatic insects from Costa Rica, deposited at the Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica**. Rev. Biol. Trop. 46 Supl.6: 137-141.
- Springer, M., A. Ramírez y P. Hanson (eds.). 1999 **Artrópodos de agua dulce de Costa Rica**. Borradores de las claves de identificación. Universidad de Costa Rica. En preparación.
- Travis, B. y Vargas, M. 1978. **Bionomics of black flies (Diptera:Simuliidae) in Costa Rica. VI. Correlations with ecological factors**. Rev. Biol. Trop., 26(2): 335-345
- Tabash, F. 1988. **Utilización de indicadores biológicos para el diagnóstico del estado de contaminación de las aguas lólicas**. Uniciencia 5 (1-2), 87-89.
- Vargas, J. 1999. **Distribución y morfología de adultos e inmaduros de moscas califóridas (Diptera) de importancia forense en Costa Rica**. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología. San José, Costa Rica. p. 45.

- Vázquez, R. 1997. Costa Rica. **El beneficiado ecológico del café.** p. 51-64.
En: **Memorias XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura.**
IICA / PROMECAFE Editorama. San José, Costa Rica.
- Zamora-Muñoz, C. y Alba-Tercedor, J. 1996. **Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods.** J. N. Am. Benthol. Soc., 15(3):332-352.
- Zúñiga, A. y A. Solís 1991. **Sistema de tratamiento anaerobio para aguas residuales del beneficiado de café.** Tesis en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería. San José, Costa Rica. p. 16.
- Zúñiga, M., Rojas, A. y Calcedo, G. 1993. **Indicadores Ambientales de la calidad de agua en la cuenca del río Cauca.** Revista Ainsa Año XIII (2): 17-28.

ANEXOS



ANEXOS



ANEXOS

ALON	OTOPICADO	ECOTE
1. 100	1. 100	1. 100
2. 100	2. 100	2. 100
3. 100	3. 100	3. 100
4. 100	4. 100	4. 100
5. 100	5. 100	5. 100
6. 100	6. 100	6. 100
7. 100	7. 100	7. 100
8. 100	8. 100	8. 100
9. 100	9. 100	9. 100
10. 100	10. 100	10. 100

ANEXO 1.

Valores para el cálculo del índice B.M.W.P.

Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del Índice B.M.W.P. modificado y adaptado a la fauna de Costa Rica.

FAMILIA	PUNTUACIÓN
Perlidae, Leptophlebiidae, Heptageniidae, Polymitarcidae, Euthyplociidae, Ephemeridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Psephenidae, Blephaceridae, Leptoceridae, Odontoceridae, Ptylodactylidae, Corydalidae, Lutrochidae, Corduliidae.	10
Gomphidae, Aeshnidae, Libellulidae, Hydroptilidae, Hydrobiosidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Oligoneuridae, Xiphocentronidae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Platysticidae.	8
Polycentropodidae, Oligoneuridae, Elmidae, Leptohyphidae, Hydracarinae, Drypoidae	7
Calopterygidae, Coenagrionidae, Scirtidae, Hydrophilidae, Dytiscidae.	6
Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Naucoridae, Planariidae.	5
Baetidae, Caenidae, Curculionidae, Crysomelidae, Empididae, Tabanidae, Ceratopogonidae, Psychodidae, Pyralidae, Hydracarina.	4
Hydrometridae, Gyrinidae, Gerridae, Veliidae, Mesoveliidae, Staphylinidae, Belostomatidae	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Gastropoda	2
Syrphidae, Oligochaeta (todos)	1

Significado de los valores del índice biológico y colores a utilizar para su distinción.

CLASE	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
I	101 en adelante	Limpias	Azul
II	61-100	Algo Contaminadas	Verde
III	36-60	Contaminadas	Amarillo
IV	16-35	Muy Contaminadas	Naranja
V	15 ó menos	Fuertemente Contaminadas	Rojo

ANEXO 2 Macroinvertebrados capturados en los tres ríos muestreados según beneficio, periodo de la cosecha y punto de muestreo (A="antes", D="después").
Alajuela, Octubre 2000 a Marzo 2001.

ORDEN	FAMILIA	GENERO	COOPECAFIRA						ROLANDO ROJAS						COOPEATENAS						TOTAL
			Inicio		Pico		Fin		Inicio		Pico		Fin		Inicio		Pico		Fin		
			A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	
Trichoptera	Baetidae	<i>Camelobaetis</i> sp.	1	2	30				7	11	3	12	9	95		13	21		6	7	217
		<i>Baetis</i> sp.	1		2		5								2		5				15
		<i>Baetodes</i> sp.	32	17	10				13	25	10		6		74	20	40		18		265
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes zalope</i>	10	8	17				24	6	28		19		11	4	7		47		181
		<i>Leptohyphes</i> sp 1																	1		1
		gen.undet.	5	6																	11
	Leptophlebiidae	<i>Farodes</i> sp.									1				1				1		3
		<i>Thraulodes</i> sp.							56	9	87	1	43	1	29	5	106		73		410
	Thricorythidae	<i>Thricorythodes sordidus</i>		6					4				2		2	1	22		15		52
Zygoptera	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i> sp.	1						1	1					1	1					5
	Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.			4				1	1		3			1				13		23
	Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i> cf.	1	1					3	7		10			3	5		1			31
		<i>Perithemis</i> sp.	1						5												6
	Platystictidae	<i>Palaemnema</i> sp.									5	2				2					9
Trichoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i> cf.							3		3		21						1		28
Trichoptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i> sp.							2	3	5		21		2		2				35
Trichoptera	Belostomatidae	<i>Abedus</i>			1		1	2											1		5
Trichoptera	Dryopidae	<i>Elmoparus</i> sp.									6	1	4						1		12
		<i>Pelonomus</i> sp.					1				9	1	3	2	1						17
	Elmidae	<i>Heterelmis</i> sp.	1	2					1	1	3		7		1		3		7		26
		<i>Macrelmis</i> sp.										3		2							5
		<i>Microcyloepus</i> sp.																	2		2
		gen.undet.			2								1			2					5
	Hydrophilidae	gen.undet.			1																1
	Psephenidae	<i>Psephenus</i> sp.							4		2		5			1		1			13
	Ptyodactylidae	<i>Anchyrtarus</i> cf.									8		22		1	2					33
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i> cf.							10		2				3		4				19
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	1								11	1	1		2	3	2		4		25
	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	3	3					1	10	8				32	16	16		14		103
		<i>Leptonema</i> sp.		5					7	16	49		52	1	20	24	17		88	1	280
	Hydroptilidae	<i>Alisotricia</i> sp.							1												1
	Leptoceridae	<i>Oecetis</i> sp.																	2		2
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp.																	1		1
Lepidoptera	Pyrilidae	<i>Petrophila</i> sp.		1									1		1	2	3		1		9
		gen.undet.			1	4															5
Diptera	Ceratomyzidae	gen.undet.																	1		1
	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp 1	1	1	128	200	241	540	31		681		664		61		840		586		3974
		sp 2					1									3		1			5
		<i>Endotribelos</i> cf.	1		51	36			4		2				1	22	1	3		1	122
	Orthodendrinae	<i>Eukiefferiella</i> cf.	13	4	185	2	26	1	1	53	9	16	5	2	4	9	1	12	30		373
		gen.undet.1	22	1	4						1				1						29
		gen.undet.2	3		1	3	17	3	8	1			3		2			2	4		47
gen.undet.3	5				2										1				8		

FAMILIA	GENERO	COOPECAFIRA						ROLANDO ROJAS						COOPEATENAS						TOTAL
		Inicio		Pico		Fin		Inicio		Pico		Fin		Inicio		Pico		Fin		
		A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	
Empididae	gen.undet. 4	7		2		4	2	1	11					3	31	4		1	1	67
	Polypedium	5	2	53	12	2		25		5	49		23	79	327	18	1	8	7	616
	Tanytarsus cf.	2		1										4	9					16
	Rheotanytarsus											1		4	1					6
	Hemerodromia																			1
	Neoplasia cf.									1										1
	Simulium	108	332	127	2	14	1	87	26	165	27	56	38	131	351	37	8	23	8	1541
	Hexatoma											3			1	2				6
	Limonia					2	1					1								4
	cf. Tabanidae	gen.undet.							1											
cf. Psychodidae	gen.undet.									2										2
TOTAL		224	391	617	262	314	552	222	198	472	788	311	833	407	904	336	853	346	645	8675

ANEXO 3.

Imágenes del efecto de los beneficios en los ríos.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)



k)



l)



m)



n)



ñ)



o)



p)



q)



r)



s)

ANEXO 4.1

Chironomus (Diptera:Chironomidae)



a) vista lateral de la larva en que se aprecia el color natural.



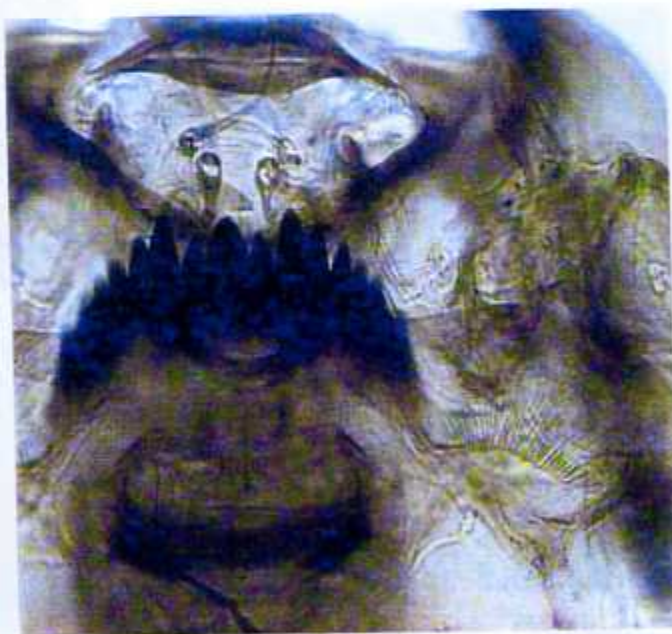
b) vista lateral de la cápsula cefálica, mancha del ojo



c) vista lateral de larva en alcohol



d) túbulos ventrales en la parte posterior



e) mentum o hipostoma



a) vista dorsal



b) detalle de la cabeza



c) detalle de las agallas, filamento terminal y cerci.

ANEXO 4.3

Leptohyphes (Ephemeroptera: Leptohyphidae)



a) vista dorsal de la larva



b) detalle de las agallas



c) Parte posterior



a) vista dorsal



b) vista de cabeza.



c) detalle de agallas y cerci

ANEXO 4.5

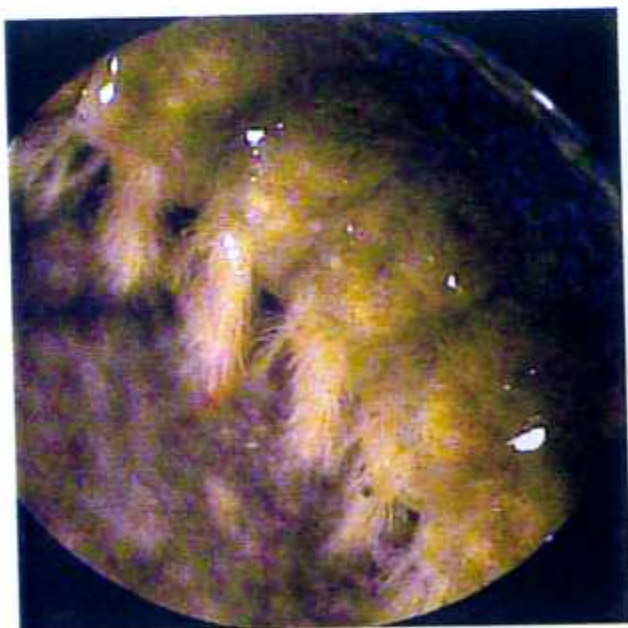
Leptonema (Trichoptera: Hydropsychidae)



a) vista cabeza



c) vista lateral



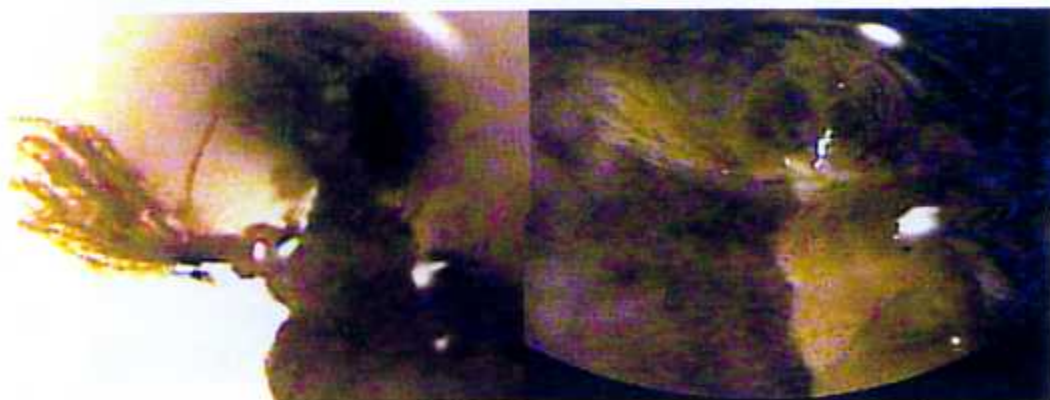
b) detalle agallas abdominales



a) vista lateral de la larva



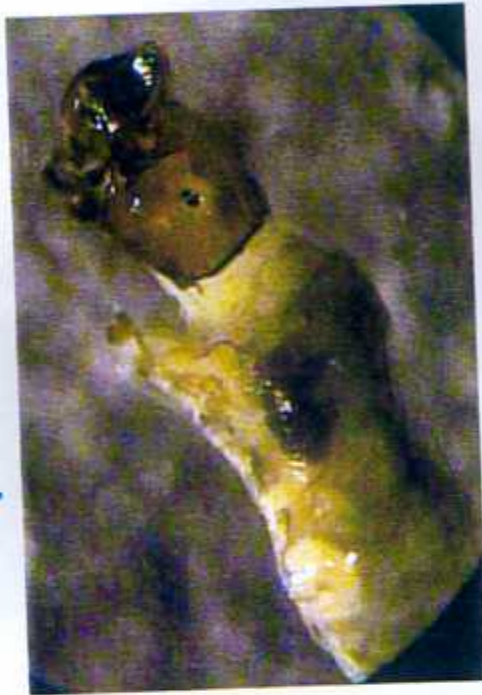
b) vista de la cabeza



c) detalle parte posterior

ANEXO 4.7

Simulium (Diptera: Simuliidae)



a) vista de la cabeza



b) vista lateral



a) vista dorsal



b) vista dorsal del labio



c) agallas en parte posterior



d) detalle de antenas



a) vista dorsal del labio



b) vista de agallas laterales

ANEXO 4.10

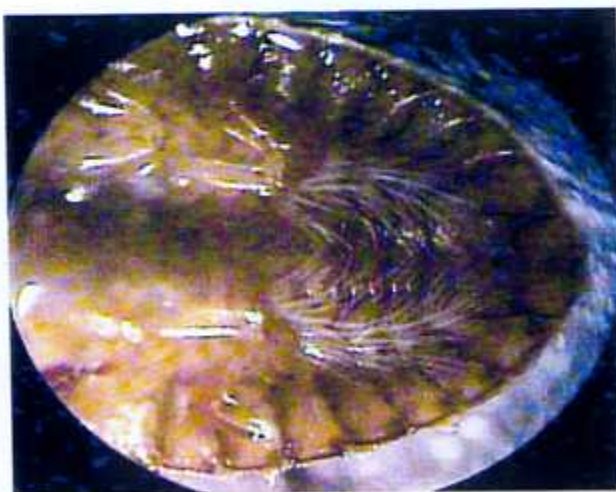
Psephenus (Coleoptera: Psephenidae)



a) Vista dorsal



b) Vista ventral



c) vista de branquias



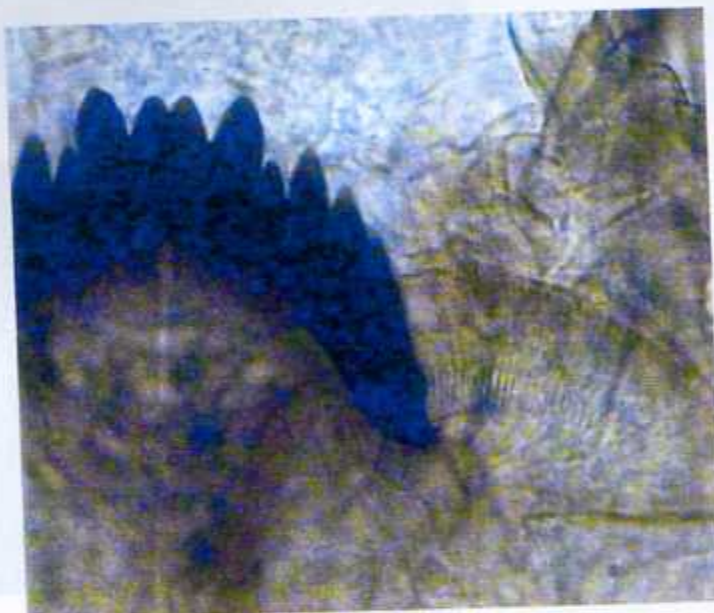
a) Vista lateral



b) cabeza



c) parte posterior



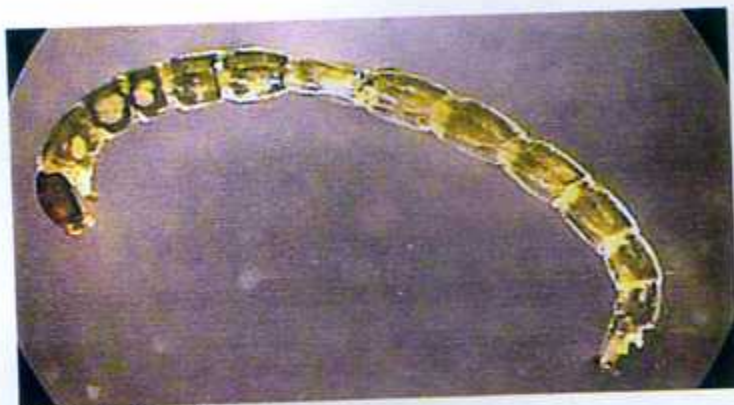
d) detalle del mentum, posición de la dentadura



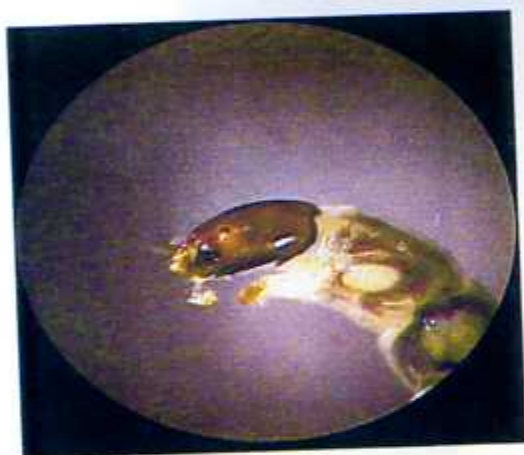
e) cápsula cefálica vista ventral



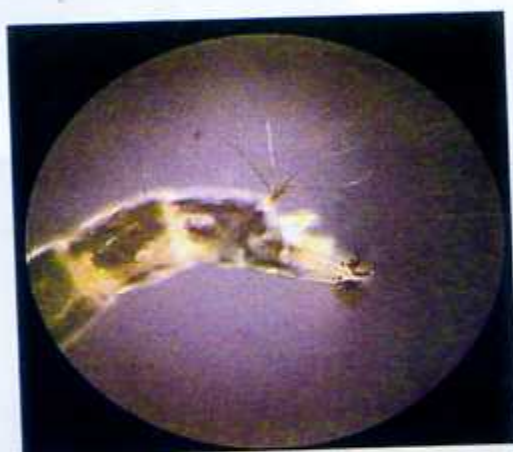
f) mentum



a) vista lateral



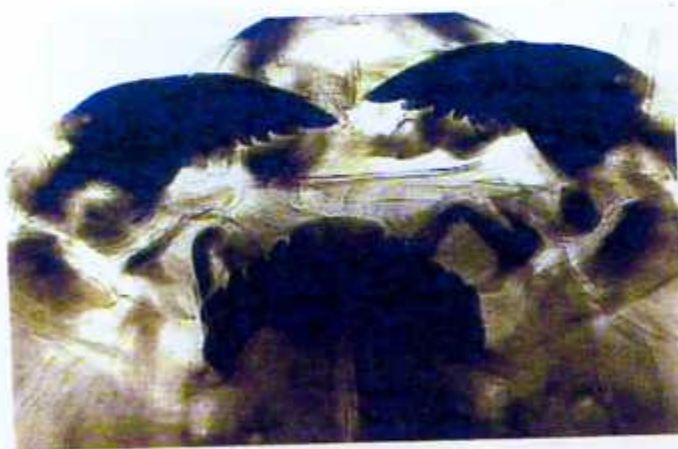
b) vista lateral cabeza



c) parte posterior

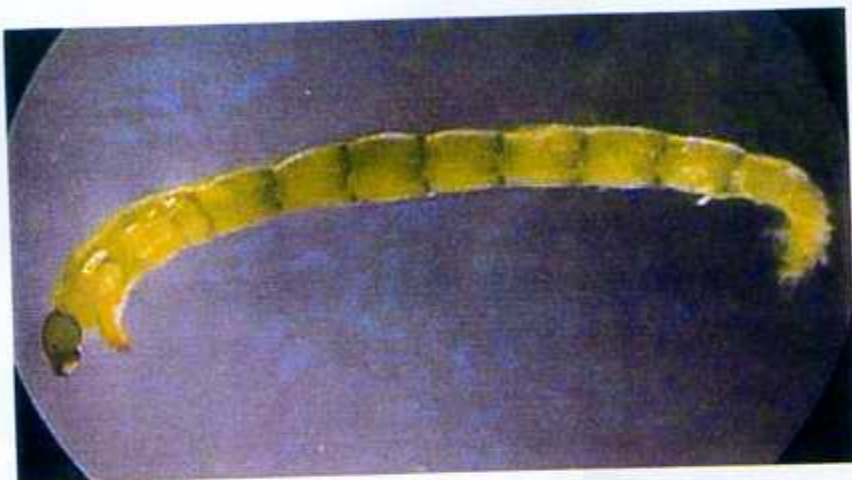


d) cápsula cefálica vista ventral



e) mentum

ANEXO 4.11.3 Orthoclaadiinae gen.undet.1 (Diptera: Chironomidae)



a) vista lateral



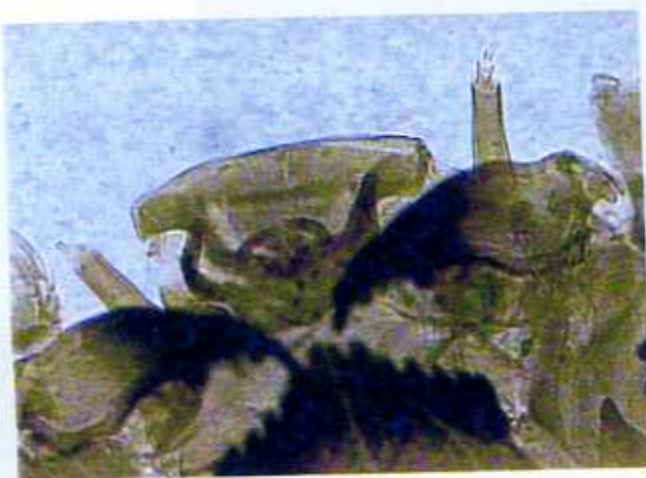
b) vista lateral cabeza



c) parte posterior



d) Cápsula cefálica vista ventral



e) Detalle del mentum



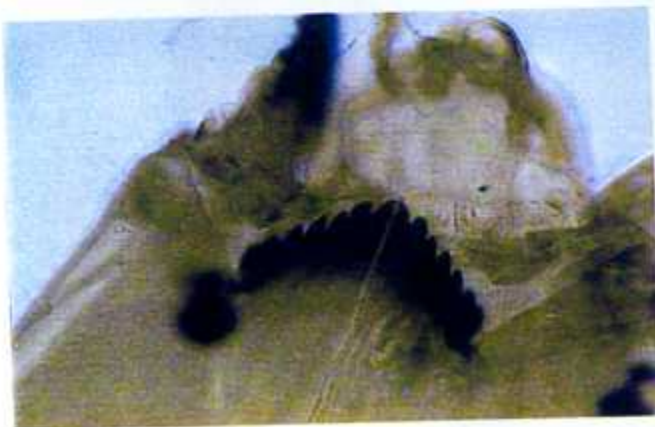
a) Vista lateral



c) vista cabeza



b) Cápsula cefálica vista ventral



d) mentum



e) parte posterior

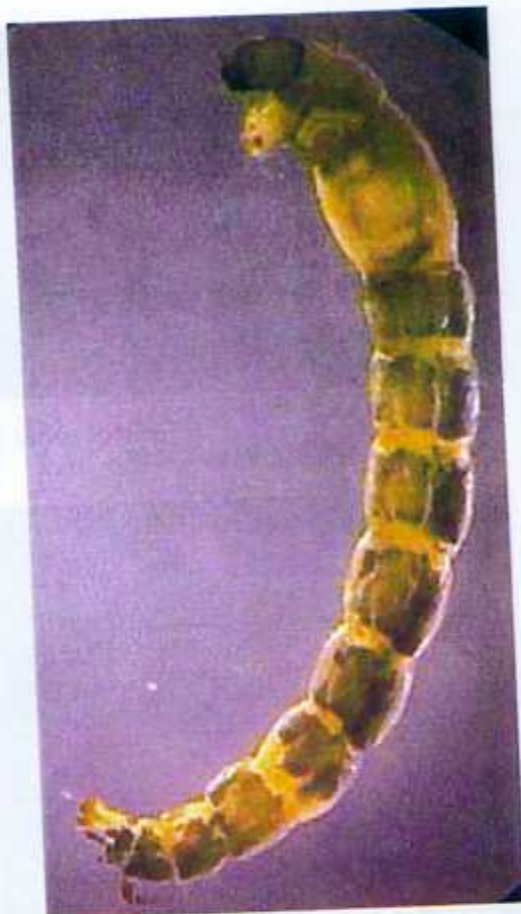
ANEXO 4.11.5 Orthocladiinae gen.undet.3 (Diptera:Chironomidae)



a) Cabeza vista ventral



b) parte posterior



c) vista lateral



d) cápsula cefálica vista ventral



e) mentum

ANEXO 4.11.6 Orthocladiinae gen. undet.4 (Diptera:Chironomidae)



a) vista cabeza



b) vista lateral



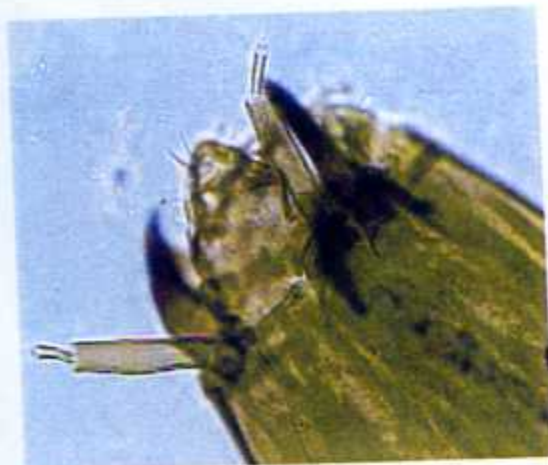
c) cápsula cefálica vista ventral



d) parte posterior



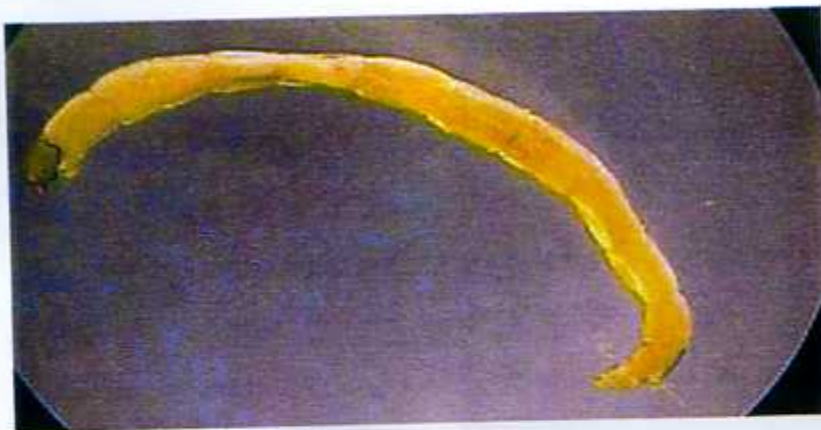
e) mentum



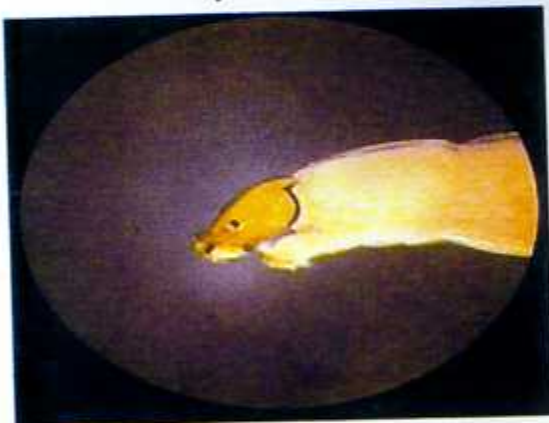
f) antenas

ANEXO 4.11.7

Polypedilum (Diptera: Chironomidae)



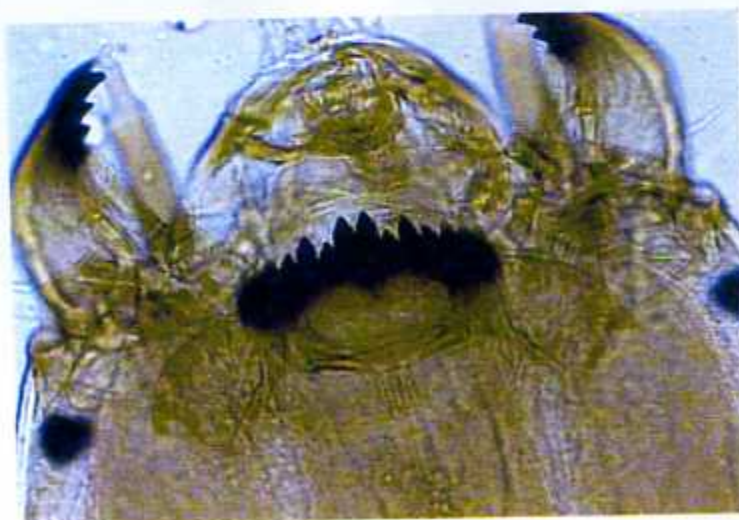
a) Vista lateral



b) Vista lateral cabeza



c) parte posterior



d) mentum

ANEXO 4.11.8

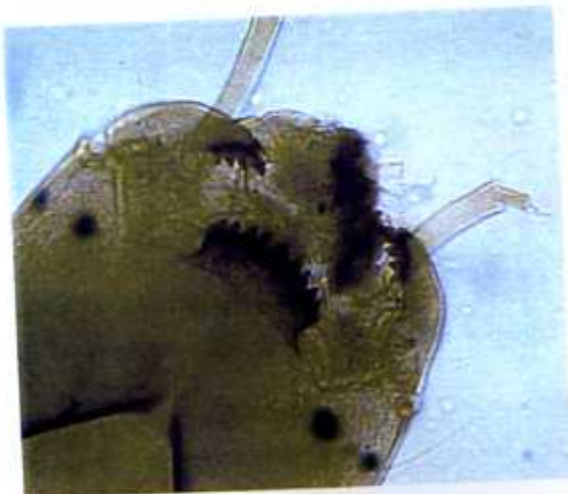
Rheotanytarsus cf. (Diptera: Chironomidae)



a) cabeza, vista lateral



b) parte posterior



c) mentum



d) cápsula cefálica vista ventral