

Universidad Autónoma de Chiriquí
Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Escuela de Biología

Distribución y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la
subcuenca alta, media y baja del río Caldera, Chiriquí, Panamá

Yusseff P. Aguirre E.

CIP: 4-737-244

Sometida a consideración de la Comisión de Tesis de la Escuela de Biología
para optar por el grado de Licenciatura en Biología

David, Chiriquí, República de Panamá

2014

Dedicatoria

A Dios Todopoderoso por obsequiarme la vida, por acompañarme, protegerme, bendecirme y por poner en mí vida a todas y cada una de las personas, que de una u otra forma han intervenido en mi crecimiento y aprendizaje a través de todos estos años, en especial a mis padres.

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Juan A. Bernal Vega, asesor principal de este trabajo, por su apoyo en toda circunstancia para la realización y entrega de este estudio.

Al comité de asesores, los profesores: Alexander Serrano, *M.Sc* y en especial, a Angélica Rodríguez, *M.Sc.* por su tiempo en la revisión y corrección de este manuscrito.

A Tomás A. Ríos, por los consejos y ayuda en la confección y redacción de este trabajo.

A Yuriani Cozzarelli por su compañía y colaboración en el trabajo de campo.

A mi primo Wuil Pitty, por el apoyo con el transporte en cada una de las giras de muestreo.

Índice

1.- Resumen	1
2.- Abstract	2
3.- Introducción	2
4.- Objetivos	5
4.1.- General	5
4.2. Específicos	5
5.- Revisión bibliográfica.....	5
5.1.- Generalidades de la subcuenca alta, media y baja del río Caldera	5
5.2.- Variables físicas y químicas en los ecosistemas acuáticos	6
5.2.1.- Temperatura	6
5.2.2.- Oxígeno disuelto	6
5.2.2.1.- Efecto de la temperatura sobre el oxígeno disuelto.....	6
5.2.2.2.- Efecto de la presión atmosférica sobre el oxígeno disuelto.....	7
5.2.2.3.- Efecto de la salinidad.....	7
5.2.2.4.- Efectos de la materia orgánica disuelta	7
5.2.3.- Sistema dióxido de carbono-alcalinidad-pH.....	8
5.2.4.- Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos	8
5.3.- Ambientes dulceacuícolas.....	9
5.4.- Biología de los macroinvertebrados dulceacuícolas	10
5.5.- Hábitat y locomoción	11
5.5.1.- Neuston (pleuston).....	11
5.5.2.- Necton	11
5.5.3.- Bentos.....	12
5.6.- Alimentación.....	12
5.6.1.- Herbívoros	12
5.6.2.- Carnívoros	13
5.6.2.1.- Depredadores.....	13
5.6.2.2.- Parasitoides.....	13
5.6.2.3.- Parásitos.....	14

5.6.3.- Detritívoros.....	14
5.7.- Respiración	14
5.7.1.- Respiración hidropnéutica.....	15
5.7.2.- Respiración aeropnéutica	15
5.8.- Osmoregulación	15
5.9.- Biomonitorio acuático.....	16
5.9.1.- Enfoques para evaluar la respuesta de los macroinvertebrados a la contaminación.....	17
5.9.2.- Razones por las que se consideran los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.....	18
5.10.- Algunos trabajos de bioindicación con macroinvertebrados realizados en Panamá	19
6.- Materiales y métodos	19
6.1.- Área de estudio	19
6.2.- Recolecta, procesamiento de las muestras y toma de datos	22
6.3.- Identificación de las muestras	23
6.4.- Análisis de los datos	24
7.- Resultados y discusión.....	24
7.1.- Diversidad de insectos acuáticos durante el estudio.....	24
7.2.- Abundancia de morfoespecies	28
7.3.- Índice de diversidad	32
7.4.- Índice de similitud.....	33
7.5.- Índice biótico BMWP/Pan. para la calidad del agua	35
7.6.- Parámetros físicos y químicos	36
8.- Conclusiones.....	39
9.- Bibliografía	41
10.- Recomendaciones.....	46
11.- Anexos	47

Índice de cuadros

Cuadro 1.- Altitud de los puntos muestreados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.....	21
Cuadro 2.- Individuos encontrados por estación en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera, durante la época seca (diciembre, 2011 – abril, 2012).....	25
Cuadro 3.- Diversidad total y para las 6 estaciones en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.....	32
Cuadro 4.- Porcentaje de similitud de Sorenson cuantitativo para las 6 estaciones de muestreo en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.....	34
Cuadro 5.- Calidad por estación según el BMWP'/Pan. para la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.....	36
Cuadro 6.- Parámetros físicos y químicos de 6 estaciones en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.....	38

Índice de figuras

Fig. 1.- Ubicación de las estaciones de muestreo en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.	22
Fig. 2.- Tipos de muestreo utilizados en campo: A. Muestreo en roca con pinzas entomológicas, B. Muestreo con red triangular y C. Recolecta de hojarasca.	23
Fig. 3.- Preparación y utilización del multiparámetro HQ40d.	23
Fig. 4.- Número de individuos por estación de muestreo recolectados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera durante la época seca.	29
Fig. 5.- Número de individuos por orden encontrado en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.	30
Fig. 6.- Cantidad de familias por orden de la clase Insecta identificados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.	32
Fig. 7.- Larva de Coleoptera, Ptilodactylidae, <i>Ptilodactyla</i>	47
Fig. 8.- Larva de Trichoptera, Hydropsychidae, <i>Calosopsyche</i>	47
Fig. 9.- Larva de Lepidoptera, Noctuidae, <i>Archanara</i>	48
Fig. 10.- Ninfa de Odonata, Megapodagrionidae, <i>Heteragrion</i>	48
Fig. 11.- Ninfa de Odonata, Cordulegastridae, <i>Cordulegaster</i>	49
Fig. 12.- Larva de Trichoptera, Hydropsychidae, <i>Centromacronema</i>	49
Fig. 13.- Larva de Diptera, Athericidae, <i>Atherix</i>	50
Fig. 14.- Larva de Trichoptera, Lepidostomatidae, <i>Lepidostoma</i>	50
Fig. 15.- Larva de Coleoptera, Elmidae, <i>Hexanchorus</i>	51
Fig. 16.- Larva de Trichoptera, Polycentropodidae, <i>Polyplectropus</i>	51
Fig. 17.- Ninfa de Ephemeroptera, Leptophlebiidae, <i>Traverella</i>	52
Fig. 18.- Detalle de la cabeza de una ninfa de <i>Traverella</i>	52
Fig. 19.- Ninfa de Plecoptera, Perlidae, <i>Anacroneuria</i>	53
Fig. 20.- Larva de Diptera, Stratiomyidae, <i>Allognosta</i>	53

1.- Resumen

Con el objetivo de determinar la diversidad y calidad del agua se realizaron muestreos de macroinvertebrados acuáticos en seis estaciones a lo largo de las subcuencas alta, media y baja del río Caldera, Chiriquí, Panamá, durante la época seca (diciembre de 2011 – abril de 2012). Cada estación fue muestreada dos veces por mes durante períodos de 45 minutos cada una. Se utilizaron tres tipos de muestreos los cuales fueron: a-) la red triangular, b-) muestreo en rocas con pinzas entomológicas, y c-) recolecta de hojarasca. Las muestras fueron colocadas en envases plásticos debidamente rotulados, y con alcohol al 70 %. La diversidad total para el área de estudio fue alta ($H' = 3.36$), la cual estuvo compuesta por 5849 individuos, identificadas en 115 géneros pertenecientes a 62 familias, en 16 órdenes de las clases Oligochaeta, Insecta, Aracnoidea y Gastropoda. La mayor abundancia de individuos se obtuvo en la estación 2 con un valor de 1278 individuos, y los órdenes que presentaron mayor abundancia fueron Díptera y Trichoptera, con 1489 y 1298 individuos, respectivamente. Las familias más representativas fueron Simuliidae y Chironomidae, mientras que el orden con mayor cantidad de familias fue Coleoptera. El índice de Sorenson cuantitativo mostró que las estaciones con mayor similitud fueron la 5 y la 6 con un valor de 69.3 %, en tanto que las de menor similitud fueron la 2 y 6 con 11.3 %. Según el BMWP/Pan, la calidad del agua del río Caldera durante esta época fue de buena a excelente. Este estudio mostró la aplicabilidad del uso de macroinvertebrados acuáticos, para determinar daños en los ecosistemas fluviales.

2.- Abstract

With the objective of determine the diversity and quality of water, were sampled aquatic macroinvertebrates in six stations along the subbasins high, middle and lower of Caldera river, Chiriquí, Panama, during the dry season (December 2011 - April 2012). In each station was sampled twice per month in periods of 45 minutes each. In this study were used three types of sampling: a-) triangular net, b-) sampling rocks with entomological tweezers and c-) litterfall collection. Samples were placed in plastic containers properly labeled, with 70 % ethanol. The total diversity for the study area was high ($H' = 3.37$), which was composed by 5849 individuals, identified in 115 genera belonging to 62 families, in 16 orders of the classes Oligochaeta, Insecta, Aracnoidea and Gastropoda. The greater abundance of individuals was obtained at station 2, with a value of 1278, and the orders that showed higher abundance were Diptera and Trichoptera, 1489 and 1298 individuals, respectively. The most representative families were Simuliidae and Chironomidae, while the order with the most quantity of families was Coleoptera. The Sorenson quantitative index showed that the stations with greater similarity were: 5 and 6 with a value of 69.3 %, whereas the lowest similarities were between the stations 2 and 6, with 11.3 %. According to BMWP/Pan, the water quality of Caldera river, during this season was good to excellent. This study showed the applicability of using aquatic macroinvertebrates to determine damage to fluvial ecosystems.

3.- Introducción

Los hábitats de agua dulce ocupan una porción relativamente pequeña de la superficie de la tierra en comparación con los marinos y terrestres, pero su importancia para el hombre y los ecosistemas naturales es incalculable, en la naturaleza constituyen un importante componente en el ciclo hidrobiológico, sirviendo como fuente de agua a muchos animales y brindando albergue a otro número considerable de especie. Por ejemplo, en los ríos las características físicas y químicas varían desde la cabecera hasta su desembocadura, y el cauce

es drásticamente modificado al atravesar las diferentes regiones, brindando una variedad de nichos que pueden ser ocupados por los diferentes organismos adaptados al medio acuático (Araúz *et al.* 2000).

La importancia del agua dulce como fuente de agua potable, irrigación, recreación, etc. no requiere discusión, pero hay que destacar la importancia de los diversos organismos y procesos biogeoquímicos en mantener la cantidad y calidad de estas aguas. Por lo tanto, la conservación de estos ecosistemas es para nuestro propio bienestar. Sin embargo, la degradación continua de los ecosistemas dulceacuícolas sugiere que existe poca apreciación de los servicios ambientales proveídos por los organismos acuáticos (Hanson *et al.* 2010).

El estudio de la estructura de las comunidades de organismos tiene gran importancia en la evaluación de los ecosistemas acuáticos, en razón de la interacción existente entre estos organismos y el medio abiótico que los rodea y les sirve de hábitat. Debido a que las variables físicas y químicas sólo dan una idea puntual sobre la calidad del agua y no informan sobre las variables en el tiempo, las características de las comunidades dan fe del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales (Araúz *et al.* 2000).

El uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua empezó hace más de cien años en Europa. Hoy día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo. A diferencia de los análisis físicos y químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes. De igual manera, mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones físicas y químicas estándares. Sin embargo, el uso de bioindicadores también tiene sus limitaciones, especialmente para determinar la calidad de agua para consumo

humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana. Además, las comunidades de organismos indicadores pueden verse afectados por otros factores ambientales, como la calidad del hábitat o las condiciones climáticas. Por lo tanto es importante utilizar métodos como los físicos, químicos y el biológico, en forma integral, lo cual ya se contempla en la legislación de muchos países y estados alrededor del mundo (Springer 2010).

Por otro lado, la subcuenca del río Caldera, la cual forma parte de la cuenca del río Chiriquí, es considerada una "cuenca prioritaria para Panamá", debido a que tiene un alto valor ecológico, socioeconómico y agrícola. Parte de las riquezas que se encuentran en los ecosistemas de la cuenca del río Caldera han sido aprovechadas de una manera desmedida; a largo plazo, estos procesos ocasionan la degradación permanente de los ecosistemas. Otra problemática es el creciente aumento del turismo y del desarrollo urbano, lo que ha ocasionado un incremento de la escorrentía superficial y de sedimentos a los cauces de ríos y quebradas, lo que aumenta el riesgo de los frágiles ecosistemas existentes. Esta situación es principalmente crítica en la cuenca alta del río Caldera, por sus mismas características biofísicas, socioeconómicas y ambientales, por lo que es necesaria una gestión sostenible del recurso hídrico (Arosemena 2010).

La cobertura vegetal existente, principalmente en la parte alta de la cuenca, consistente en 81 km² de bosques primarios y secundarios y que comprenden a los bosques nublados de las zonas de vida Bosque Pluvial Montano y Bosque Pluvial Montano Bajo, que representan el 37 % de la superficie de la cuenca. Los principales tipos de demanda de agua que deben ser satisfechos en esta subcuenca se encuentran la generación hidroeléctrica, que es el más demandante, con poco más de 80 %, seguido por la demanda de agua para los sistemas de riego con 13 %. Los demás usos en conjunto (doméstico, recreación, turismo y agroindustrial) alcanzan el 7 %. De estos, el

industrial es el más significativo en la subcuenca (Arosemena 2010). Los recursos hídricos existentes en la cuenca alta del río Caldera son de gran importancia para el país y su uso apropiado es determinante para un desarrollo socioeconómico armonioso, con miras a asegurar una mejor calidad de vida a las generaciones futuras que viven en esta subcuenca.

4.- Objetivos

4.1.- General

- Determinar la diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y evaluar la calidad del agua en las subcuencas alta, media y baja del río Caldera durante la época seca.

4.2. Específicos

- Determinar la diversidad de insectos acuáticos presentes en las subcuenca alta, media y baja del río Caldera.
- Comparar la abundancia de macroinvertebrados en los diferentes pisos altitudinales de la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.
- Determinar la calidad del agua en las diferentes estaciones de muestreo utilizando un índice biológico.

5.- Revisión bibliográfica

5.1.- Generalidades de la subcuenca alta, media y baja del río Caldera

La subcuenca del río Caldera se encuentra localizada en la vertiente Pacífica de Panamá y forma parte la cuenca del río Chiriquí, la cual es de vital importancia para la provincia del mismo nombre y para el país. El principal centro poblado es el distrito de Boquete. Su área de drenaje es de 14,325 hectáreas (143,3 km²), representando un 7.5% del total de la cuenca del río Chiriquí. La longitud aproximada desde su nacimiento hasta la salida es de 49,4 km. El perímetro es de 55,2 km. La forma de la misma es rectangular delgada, alargada, corriendo casi en dirección oeste-este al inicio, para luego tomar una

dirección noroeste-sureste al unirse al río Chiriquí. La región hidrológica del río Caldera se puede catalogar como pequeña y del tipo exorreica (Contraloría general de la república 2000).

5.2.- Variables físicas y químicas en los ecosistemas acuáticos

5.2.1.- Temperatura

La radiación solar no solamente determina la calidad y la cantidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Mientras que en las zonas templadas la temperatura varía ampliamente con el cambio de estaciones, en las zonas tropicales permanece más o menos constante a lo largo del año: siempre frías en las altas montañas y cálidas a nivel del mar. En otras palabras, los organismos sometidos a cambios de estaciones toleran más los cambios de temperatura y sus ciclos y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. En cambio los organismos tropicales al estar adaptados a una temperatura relativamente constante, cualquier cambio podría ser fatal para su supervivencia (Roldán 2003).

5.2.2.- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos. En los lagos la fotosíntesis es la fuente más importante de oxígeno y su medición se usa para determinar la productividad primaria, y en cierta medida, deducir el estado de eutroficación (Roldán 2003).

5.2.2.1.- Efecto de la temperatura sobre el oxígeno disuelto

La solubilidad del oxígeno está afectada por la temperatura. Así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. Un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad cerca de un 40 % al bajar la temperatura. Esto se debe a que en el

agua fría las moléculas se encuentran más unidas. Mientras que al aumentar la temperatura, las moléculas se separan y disminuye el nivel de oxígeno disuelto, lo que puede llegar a desoxigenar un cuerpo de agua en alto porcentaje (Roldán 2003).

5.2.2.2.- Efecto de la presión atmosférica sobre el oxígeno disuelto

Como la concentración de oxígeno también está afectada por la presión atmosférica, a mayor altura menor presión por ende hay pérdida de oxígeno. Debido a que los valores normales de oxígeno dependen de la altura y de la temperatura, es más conveniente expresar los resultados en términos de porcentaje (%), siendo el 100% la concentración ideal. Valores por encima o por debajo, indicarían que algo está perturbando el ecosistema. Valores de oxígeno del 50 % o menores, son letales para la mayoría de los organismos acuáticos (Roldán 2003).

5.2.2.3.- Efecto de la salinidad

La solubilidad del oxígeno también está afectada por un incremento de su salinidad. A 0 °C el agua dulce contiene aproximadamente 2.8 mg/L más que el agua de mar; a 15 °C la diferencia es aproximadamente de 2.1 mg/L. Este factor es muy importante tomarlo en consideración cuando se trabaja en ecosistemas acuáticos con salinidades cercanas a la del mar, pues allí los problemas de adaptación de los organismos ya no son solo por déficit de oxígeno, sino que también por osmorregulación (Roldán 2003).

5.2.2.4.- Efectos de la materia orgánica disuelta

Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo regular bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2 mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno en el agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones, el agua tiene la apariencia de un color turbio grisáceo y olores característicos de

huevos podridos (ácido sulfhídrico). Es de esperarse, por tanto, una fuerte reducción de la diversidad de especies de macroinvertebrados, quedando presentes por lo regular en grandes números, sólo aquellos adaptados para resistir dichas condiciones (Roldán 2003).

5.2.3.- Sistema dióxido de carbono-alcalinidad-pH

La fotosíntesis y la respiración son dos fenómenos biológicos antagónicos, pero íntimamente relacionados. Así cuando en los ecosistemas acuáticos se realiza la fotosíntesis disminuye el CO₂ libre y empieza a aparecer el bicarbonato y el carbonato. Durante la respiración se presenta el fenómeno contrario. Estos iones fomentan, en primer caso, el cambio del pH del agua hacia el lado básico; y el segundo, hacia el lado ácido. La presencia de estos iones determina el concepto de alcalinidad, el cual se expresa como la cantidad de bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua (Roldán 2003).

La contaminación de los ecosistemas acuáticos con residuos orgánicos o industriales rompe el equilibrio ecológico, lo cual provoca cambios drásticos de pH, se tornan más marcados los fenómenos de respiración y fotosíntesis, y se ocasiona el agotamiento de oxígeno en las horas de la noche y el exceso de producción durante el día. Obviamente la mayoría de las especies no resisten estos cambios y terminan por desaparecer (Roldán 2003).

5.2.4.- Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y, por ende, se relaciona con la salinidad. Los sólidos totales disueltos (STD) se refieren a la concentración total de minerales presentes en las aguas naturales, y la salinidad, a la concentración total de los componentes iónicos. La conductividad en las aguas superficiales tropicales de montaña por lo regular es muy baja (aguas oligotróficas): entre 10 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Igualmente, las aguas de los ríos de la selva pluvial tropical contienen conductividades muy bajas (menos de 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Bajo condiciones naturales, en ecosistemas acuáticos de alta

montaña, a medida que aumenta la conductividad disminuye la diversidad de especies. Un aumento de sales en el agua provocado por actividades humanas produce el mismo efecto (Roldán 2003).

5.3.- Ambientes dulceacuícolas

En términos muy generales se distingue entre las aguas con corrientes (ambientes lóticos) versus las aguas sin corrientes (ambientes lénticos). La primera categoría incluye ríos y quebradas mientras que la segunda incluye lagos, lagunas, pantanos y el agua que se acumula en varios tipos de recipientes, desde una bromelia hasta una lata vacía. Se debe notar que puede haber sitios sin corrientes (pozas) en los ríos y por otro lado un lago puede tener olas generadas por el viento. También se distingue entre cuerpos de agua oligotróficos, con pocos nutrientes y baja productividad primaria, versus eutróficos, con muchos nutrientes y una alta productividad primaria (mucho crecimiento de algas) que a menudo genera niveles bajos de oxígeno durante la noche (Hanson *et al.* 2010).

Los organismos que viven en aguas con corrientes se llaman reofilicos. En cuanto a estos ambientes podemos distinguir entre ríos y quebradas permanentes, versus intermitentes que se secan parcial- o completamente durante una parte del año. Dentro de un río existen zonas erosionales donde la corriente se lleva las partículas y zonas deposicionales donde la corriente deposita las partículas. Debajo y a los lados del fondo, en la zona hiporreica, las aguas del río se pueden mezclar con las subterráneas en los espacios intersticiales. A veces hay sitios donde el agua fluye en una lámina delgada sobre rocas empinadas, denominada la zona madícola o higropétrica. Donde hay cascadas o cataratas hay una zona de salpicadura en las rocas expuestas que se mantiene permanentemente mojada, con una comunidad de organismos especialmente adaptados a este tipo de hábitat (Hanson *et al.* 2010).

Los ambientes lénticos poseen en general menos diversidad de microhábitat que los ambientes lóticos. La orilla de una laguna, la zona litoral, tiene aguas someras con plantas creciendo en el fondo y a menudo esta es la única zona que existe en un pantano. Por lo general, la zona litoral contiene el mayor número de especies de macroinvertebrados en los ambientes lénticos. En el área de aguas abiertas podemos distinguir entre las aguas superficiales, donde penetran la luz (zona limnética), versus aguas profundas, donde no penetra la luz (zona profunda) (Hanson *et al.* 2010).

5.4.- Biología de los macroinvertebrados dulceacuícolas

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en su ciclo de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua. Ejemplos incluyen chinches (Hemiptera), la mayoría de los escarabajos (Coleoptera, aunque la pupa es generalmente terrestre), crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias (Hanson *et al.* 2010).

Por otro lado, los órdenes de Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Megaloptera, Trichoptera, Lepidoptera y Díptera tienen adultos terrestres. En muy pocos grupos, como Dryopidae (Coleoptera) y Nematomorpha, solo los adultos son acuáticos. El tiempo de desarrollo es altamente variable, dependiendo de la especie y de los factores ambientales, como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento, y puede variar desde pocas semanas hasta varios años. En los ambientes tropicales, los ciclos de vida son por lo general “multivoltinos”, lo que quiere decir que se dan varias generaciones al año. Aquí usualmente no hay una estacionalidad muy marcada en la emergencia de los adultos como se da en las zonas templadas, donde prevalecen los ciclos “univoltinos” o “semivoltinos”, con una o dos generaciones por año (Hanson *et al.* 2010).

5.5.- Hábitat y locomoción

Los animales de agua dulce se pueden clasificar basándose en donde se encuentran en el cuerpo de agua y su manera de moverse. Algunos viven en la superficie del agua (neuston), mientras que otros permanecen suspendidos en la columna de agua (plancton), o bien nadan activamente (necton). Estos grupos generalmente no habitan en aguas con corriente y pueden ser muy abundantes y diversos en lagos y lagunas. La mayoría de los animales dulceacuícolas viven sobre algún tipo de sustrato, ya sea en el fondo (bentos) o en tallos de plantas acuáticas, madera, rocas, etc. (Hanson *et al.* 2010).

5.5.1.- Neuston (pleuston)

Se refiere a los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial (Roldán 2003).

Se denomina epineuston a los organismos que viven en la fase aérea sobre la película del agua, y por otro lado, se denomina hiponeuston a los que viven justo debajo de la superficie, por ejemplo las larvas de zancudos (Culicidae), que permanecen muy cerca de la superficie debido a su modo de respiración (Hanson *et al.* 2010).

5.5.2.- Necton

Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: Corixidae y Notonectidae (Hemiptera), Dystiscidae, Gyrinidae e Hydrophilidae (Coleoptera) y Baetidae (Ephemeroptera) (Roldán 2003).

5.5.3.- Bentos

Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales órdenes representantes son: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Diptera. También pueden encontrarse unos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Otros, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a las rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (Roldán 2003).

5.6.- Alimentación

El alimento de los organismos de agua dulce se puede originar dentro del ecosistema acuático (autóctono) o venir del terrestre (alóctono). Los herbívoros y carnívoros se alimentan de organismos vivos, mientras que los detritívoros se alimentan de materia orgánica en descomposición (detritus). Dentro de cada una de estas categorías se pueden distinguir varios grupos funcionales, basados en su comportamiento alimenticio (Hanson *et al* 2010).

5.6.1.- Herbívoros

Los herbívoros se alimentan de plantas vasculares acuáticas o de algas filamentosas. Generalmente toman pedazos grandes (>1 mm) de tejido vegetal y son llamados fragmentadores (desmenuzadores). Pueden alimentarse externamente o internamente como minadores de tallos u hojas (algunos Chironomidae), o pueden alimentarse de raíces enterradas en los sedimentos (Coleoptera: Curculionidae). Hay muy pocos herbívoros que no son fragmentadores: una especie de Chironomidae que induce agallas en Podostemataceae y algunos homópteros (Hemiptera) semiacuáticos que succionan savia. Otros herbívoros se alimentan de algas microscópicas, son

menos especializados y por lo general seleccionan su alimento con base a su tamaño y disponibilidad. Algunos son filtradores de partículas en suspensión, que son recolectadas a través de cepillos bucales o redes de seda. Otros son raspadores que se alimentan de algas (perifiton) y microbios adheridos a las rocas u otros sustratos; ejemplos incluyen Heptageniidae (Ephemeroptera), Glossosomatidae (Trichoptera) y caracoles (Hanson *et al.* 2010).

5.6.2.- Carnívoros

Los carnívoros se alimentan de otros animales e incluyen tres categorías: los depredadores, los parasitoides y los parásitos. Entre los macroinvertebrados carnívoros de agua dulce están:

5.6.2.1.- Depredadores

La mayoría mastican la presa pero algunos le inyectan enzimas y succionan su contenido (chinchas; larvas de los coleópteros: Gyrinidae y Dytiscidae; ninfas y adultos de ácaros). A menudo los depredadores poseen adaptaciones morfológicas para capturar la presa, por ejemplo las patas rectoriales en chinchas y el labio extensible en Odonata (Hanson *et al.* 2010).

5.6.2.2.- Parasitoides

Los parasitoides son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedante y a diferencia de un parásito, siempre lo matan. En contraste con un depredador, la larva de un parasitoide consume un solo individuo. Comparado con los ecosistemas terrestres este grupo es muy escaso en los ecosistemas acuáticos. Incluye algunas pocas especies de avispidas (Hymenoptera) que entran al agua para poner su huevo en un insecto acuático o en sus huevos, donde se alimenta y se desarrolla su larva. Este grupo también incluye las larvas de algunos Sciomyzidae (Diptera) que son parasitoides de caracoles (Hanson *et al.* 2010).

5.6.2.3.- Parásitos

Los parásitos son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedante, pero generalmente no lo matan (a veces pueden matarlo si la población de parásitos es muy alta). Ejemplos incluyen Sisyridae (Neuroptera) que son parásitos de esponjas (Porifera), Branchiura y algunos Copepoda (Crustacea) en peces, Bopyridae (Isopoda) en las branquias de los camarones, las larvas de ácaros en los adultos de insectos acuáticos y las larvas de algunas almejas (Unionida) en branquias de peces (Hanson *et al.* 2010).

5.6.3.- Detritívoros

Los detritívoros se alimentan de detritus (materia orgánica muerta) e incluyen los siguientes grupos funcionales: a) los fragmentadores que se alimentan de pedazos de hojas en descomposición o fragmentos de madera, una dieta que incluye muchos microorganismos (bacterias y hongos), lo cual aumenta el valor nutricional de las hojas. Ellos convierten estos fragmentos en partículas más finas de materia orgánica, b) los filtradores incluyen los animales que utilizan estructuras especializadas del cuerpo (cepillos bucales como en Simuliidae, patas con brochas de setas en algunas Ephemeroptera y Trichoptera, branquias ciliadas en almejas, etc.) o redes de seda (algunos Trichoptera y Chironomidae) que funcionan como filtros para remover partículas finas del agua (Hanson *et al.* 2010).

5.7.- Respiración

Los ambientes acuáticos tienen menos oxígeno que los ambientes terrestres y la difusión del oxígeno por el agua es mucho más lenta que en el aire. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua disminuye conforme aumenta la temperatura y disminuye la corriente. En agua fría pueden haber 15 ppm (partes por millón) de oxígeno, mientras que en el aire es 200 000 ppm. Por ello, los macroinvertebrados tienen una diversidad de adaptaciones para obtener oxígeno del agua en los ambientes acuáticos (Hanson *et al.* 2010).

5.7.1.- Respiración hidropnéustica

Consiste en tomar directamente el oxígeno disuelto en el agua a través de la piel o de agallas filamentosas. Este es el tipo de respiración que realizan la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos. Se ha observado como algunos organismos que viven en aguas con déficit de oxígeno, por ejemplo las ninfas de *Euthyplocia* y *Campylocia*, poseen agallas enormemente desarrolladas, como una compensación para una mayor área de exposición y captación del poco oxígeno disponible (Roldán 2003).

5.7.2.- Respiración aeropnéustica

Es el tipo de respiración que realizan algunos organismos acuáticos, pero que toman el oxígeno directamente del aire, por ejemplo, Culicidae y Syrphidae, que tienen unos sifones respiratorios que les permiten estar por períodos prolongados en contacto con la superficie del agua. Organismos como éstos no servirán como indicadores de aguas desoxigenadas. Otros organismos como los de la familia Dytiscidae y Elmidae (Coleoptera), nadan hasta la superficie donde toman burbujas de aire que conservan debajo de los élitros y les sirve de reserva de oxígeno durante varias horas (Roldán 2003).

5.8.- Osmoregulación

La osmoregulación consiste en el mantenimiento de concentraciones específicas de sales o iones dentro del cuerpo. Los animales de agua dulce viven en un medio hipotónico, o sea, el agua tiende a entrar a su cuerpo porque las concentraciones de sales son mayores en su cuerpo que en el medio. Una manera de reducir la entrada de agua es poseer un tegumento impermeable: cutícula con cera en insectos y cutícula con carbonato de calcio en crustáceos. Sin embargo, la respiración cutánea y la respiración branqueal (branquias traqueales en el caso de insectos) requieren de superficies permeables y por las que entra un exceso de agua al cuerpo. Los animales dulceacuícolas eliminan este exceso de agua por medio de una orina muy diluida. Por ejemplo, en el

caso de numerosos insectos la orina se forma en los túbulos de Malpighi (que conecta con los intestinos) y muchos de los solutos esenciales son reabsorbidos en el recto, antes de salir del cuerpo. En los crustáceos decápodos estos procesos ocurren en un par de glándulas ubicadas en la base del segundo par de antenas (estas glándulas son más grandes en los decápodos dulceacuícolas que en los marinos). A pesar de la recuperación de solutos (sales o iones), el animal siempre pierde una fracción en la orina y a través de la superficie branqueal. Los solutos son reemplazados por la acción de células especializadas para la absorción de sales. Por ejemplo, Ephemeroptera y Plecoptera tienen células de cloruro en las branquias y el abdomen, mientras que estas células se encuentran en varias partes del cuerpo de chinches. Otros insectos tienen epitelio de cloruro localizado en el abdomen (Trichoptera) o dentro de la cámara rectal (Odonata: ambos subórdenes) (Hanson *et al.* 2010).

5.9.- Biomonitorio acuático

La medición de la calidad ambiental del agua de los ríos se ha realizado tradicionalmente a través de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales son muy precisos, aunque también onerosos. Aquí, los referidos parámetros actúan como una "fotografía" del momento en el que se toma la muestra, entregando características inmediatas sobre las aguas de los ríos; sin embargo, no permiten una visión de las variaciones de las características en el tiempo. Una alternativa complementaria a este método tradicional, es por medio de indicadores biológicos (también llamados bioindicadores), el cual es relativamente poco costoso. Este método biológico presenta amplias ventajas y nos permite una visión más integral y además retrospectiva de las cualidades del medio en el cual se desarrollan los organismos acuáticos (Sermeño *et al.* 2010).

Entre todos los grupos de organismos acuáticos, los macroinvertebrados constituyen el grupo de bioindicadores más utilizados a nivel mundial. Ellos proporcionan excelentes señales sobre la calidad ambiental del agua de los ríos, porque algunos requieren una muy buena calidad para desarrollarse y sobrevivir,

mientras que otros, por el contrario, crecen y abundan en aguas muy contaminadas. Esto se debe a que las diferentes especies tienen diferentes grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas de los ríos. También, son considerados excelentes indicadores de la calidad ambiental, debido a que su periodo de vida es lo suficientemente largo para mostrar como son afectados por la presencia de agentes contaminantes, incluyendo aquellos de bajas concentraciones, pero con capacidad de acumularse a través del tiempo. Asimismo, tienen la ventaja de ser relativamente inmóviles y fáciles de recolectar o muestrear y tienden a formar comunidades características que se asocian a condiciones físicas y químicas de las aguas de los ríos, lo que permite conocer los diferentes grados de contaminación. Además, permiten detectar situaciones de toxicidad aguda (envenenamiento) en los cuerpos de agua superficiales, lo cual generalmente no es detectado tan fácilmente por las mediciones físicas y químicas tradicionales. Debido a estas ventajas, el uso de bioindicadores para medir la calidad de agua, especialmente de ríos y quebradas, ha cobrado cada vez más importancia a nivel mundial, y recientemente también se está implementado en varios países latinoamericanos (Sermeño *et al.* 2010).

5.9.1.- Enfoques para evaluar la respuesta de los macroinvertebrados a la contaminación

Se pueden distinguir tres enfoques principales para evaluar las respuestas de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación. Estos son:

Enfoque saprobio: Kolkwitz & Marsson (1908, 1909) lo designaron en Alemania para referirse a la capacidad que tenían ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación. Al igual que otros sistemas de bioindicación, el sistema saprobico se desarrolló para dar un índice numérico, conocido como índice saprobico. En el sistema saprobio se utilizan todos los organismos acuáticos, desde los hongos y algas, hasta los vertebrados, como indicadores de la calidad del agua. También se tienen en consideración algunos

aspectos físicos y químicos como la DBO₅, el amonio NH₄ – N y el oxígeno disuelto (Roldán 2003).

Enfoque de la diversidad: Incluye tres componentes fundamentales de las comunidades naturales: riqueza, uniformidad y abundancia para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental (Roldán 2003).

Enfoque biótico: Incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones de individuos en una expresión numérica simple (Roldán 2003).

5.9.2.- Razones por las que se consideran los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores

Las razones por las cuales se consideran a los macroinvertebrados como los mejores indicadores de la calidad del agua son muchas, entre las que se citan las siguientes (Sermeño *et al.* 2010):

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Poseen una gran diversidad de especies, con un amplio espectro de respuestas ambientales (grados de tolerancia).
- Son sedentarios en su mayoría, reflejando así las condiciones locales (extensión espacial de la contaminación).
- Son relativamente fáciles de identificar en comparación con otros grupos de organismos como los virus, bacterias, entre otros (por lo menos a nivel de familia o género).
- Presentan los efectos de variaciones ambientales de corto tiempo.
- Facilitan información para integrar efectos acumulativos.
- Sus ciclos vitales son relativamente largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se encuentran en una amplia variedad de ambientes acuáticos.
- Se pueden criar en el laboratorio.

5.10.- Algunos trabajos de bioindicación con macroinvertebrados realizados en Panamá

Algunos estudios fueron realizados por: Wittgreen & Villanero (1998), señalan que los órdenes Hemiptera y Odonata registran el mayor número de géneros para las provincias centrales, igual que los estudios de Rodríguez & Bonilla (1999). Los estudios de Medianero & Samaniego (2004) se basan en la tolerancia de algunos macroinvertebrados acuáticos a la contaminación de las aguas. Trabajos más recientes como el de Pino (2006), en la subcuenca alta y media del río David; Bernal & Castillo (2012) y González (2011), en la subcuenca alta, media y baja del río Mula y Guinard (2011), en la subcuenca alta y baja del río Gariché.

6.- Materiales y métodos

6.1.- Área de estudio

La subcuenca alta del río Caldera (Figura 1) se encuentra localizada en la vertiente pacífica de Panamá y forma parte la cuenca del río Chiriquí, la cual es de vital importancia para el país debido a que tiene un alto valor ecológico, socioeconómico y agrícola. Esta actividad agrícola está diseminada por toda la parte media y alrededor de la zona poblada de la subcuenca. Las labores agrícolas son tanto de tipo artesanal (tradicional) como tecnológico (avanzado). Se disponen a favor o en contra de la pendiente; indistintamente. Productos como cebolla, tomate, zanahoria, remolacha, ajíes y apio se producen en esta zona. También se encuentran plantaciones permanentes como las de café y cítricos. La producción cafetalera es de gran importancia a nivel nacional a internacional. Las plantaciones de café poseen manejo integrado contra plagas y enfermedades (Arosemena 2010).

Según Arosemena (2010), la subcuenca está ubicada entre las coordenadas UTM X: 330000 y 351000 de latitud Norte, UTM Y: 97900 y 96600 de longitud Oeste. Tiene una altitud que va desde 675 hasta los 3,302 m.s.n.m.

La subcuenca posee tres tipos de climas: tropical húmedo, templado húmedo de altura, templado muy húmedo de altura, con dos estaciones bien definidas: una lluviosa y una seca. La precipitación media anual es de 3466 mm; octubre es el mes más lluvioso con una precipitación promedio de 739 mm, mientras que el mes más seco es febrero, con 20 mm (Arosemena 2010).

La estación seca o de menor cantidad de precipitación se prolonga desde diciembre hasta abril, mientras que la estación lluviosa inicia en mayo y se extiende hasta finales de noviembre. La temperatura media de la región es de 21,2 °C. La temperatura promedio se mantiene bastante constante a lo largo del año; los meses más frescos son septiembre y octubre con 16.3 °C y 16.1 °C, respectivamente, mientras que los más cálidos son marzo y abril con 21.7 °C y 22.9 °C, respectivamente (Arosemena 2010).

Dentro del área de la subcuenca se designaron dos estaciones para la parte alta las cuales se ubican dentro del Parque Nacional Volcán Barú (PNVB), el cual es uno de los más importantes a nivel nacional y principal fuente del recurso hídrico para la provincia dado que gran parte de los ríos de vital importancia nacen en sus faldas, otras dos se establecieron aguas arriba y aguas abajo del puente Wilson entre los poblados de Alto Boquete y Jaramillo Abajo en dicha ubicación el río es desviado y utilizado para crear y mantener un lago que alimenta al proyecto hidroeléctrico La Estrella – Los Valles y las dos restantes se posicionaron aguas arriba del puente sobre el río Caldera, que comunica con la población del mismo nombre, estas últimas estaciones se encuentran privilegiadas podría decirse en cierta forma, puesto que los pobladores del área conllevan una lucha constante para evitar que las cercanías sean utilizadas como vertederos, además de que a unos escasos metros se encuentra un balneario privado en el cual procuran la conservación y limpieza del área. La información detallada sobre las estaciones de muestreo se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Altitud de los puntos muestreados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

Estación	Altura (m.s.n.m.)	Descripción del área	Coordenadas	
			Norte	Oeste
1	1,492.9±29.0	Arroyo con corriente media, sustrato rocoso/arenoso, bosque primario a secundario.	08° 51'02.2"	082° 29'38.4"
2	1,147.9±12.0	Arroyo con un remanso y corriente media a fuerte, sustrato rocoso, fondo un tanto arenoso, bosque primario a secundario.	08° 51'06.9'	082° 29'37.4"
3	1,016.8±11.0	Caudal amplio con corriente rápida, sustrato rocoso/arenoso, bosque secundario	08° 44'38.1"	082° 25'19.5"
4	978.3±9.0	Zona perturbada desviación del cauce remanso de agua estancada, eutroficada, pequeñas escorrentías y ojos de agua, vegetación secundaria.	08° 44'25.4"	082° 25'19.7"
5	370.1±7.0	Zona escasamente perturbada, actividades de recreación, remanso profundo, corriente lenta a media, sustrato rocoso, bosque secundario.	08° 38'49.8'	082° 23'52.8"
6	360.1±13.0	Zona escasamente perturbada, actividades de recreación, corriente rápida, sustrato rocoso, bosque secundario.	08° 38'55.0'	082° 23'52.1"

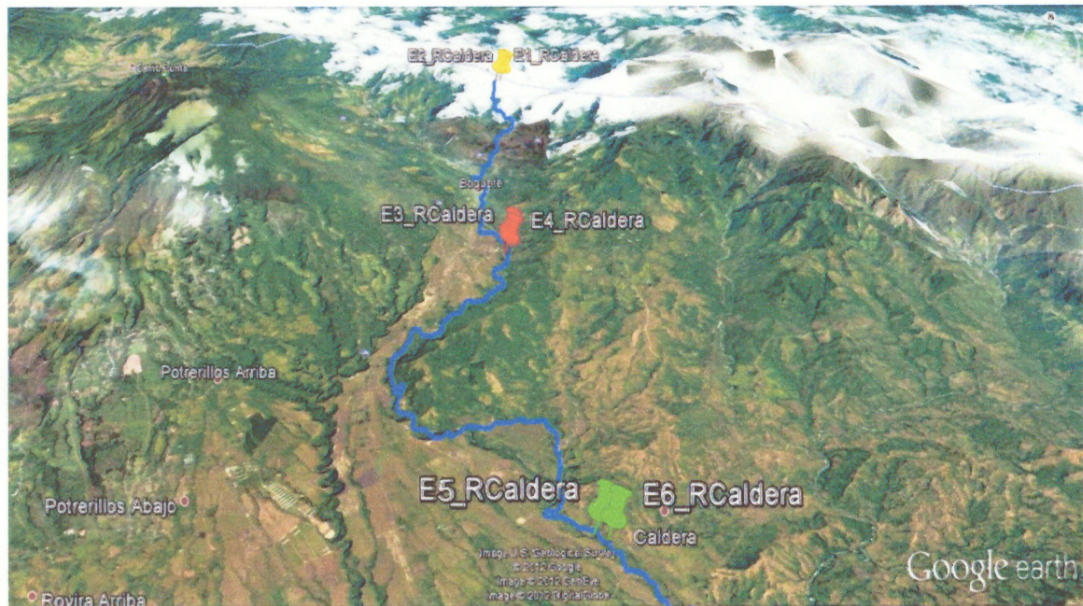


Fig. 1.- Ubicación de las estaciones de muestreo en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

6.2.- Recolecta, procesamiento de las muestras y toma de datos

Para la captura de los organismos se dedicó un tiempo de esfuerzo de 45 minutos en cada estación (Fig. 1). En ese periodo de tiempo se aplicaron tres tipos de muestreos en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera, los cuales fueron: a) Muestreo manual: utilizando pinzas entomológicas se tomaron muestras de las rocas presentes en la orilla y el fondo, b) Uso de red triangular: se realizó un barrido del fondo y las aguas superficiales con la red. Para ambos tipos de muestreo los individuos obtenidos fueron colocados en envases de plástico rotulados, que contenían alcohol al 70% para su posterior identificación y reubicación en el laboratorio, y c) Recolecta de hojarasca de la orilla y la corriente: las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas rotuladas y con alcohol al 70%, para luego revisar y extraer los especímenes (Fig. 2).



Fig. 2.- Tipos de muestreo utilizados en campo: A. En roca con pinzas entomológicas, B. Con red triangular, y C. Recolecta de hojarasca.

A la vez se tomaron datos físicos y químicos de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto utilizando el multiparámetro HQ40d y las sondas CDC 40105 (conductividad), pH 10105 (pH), y LDO 10105 (oxígeno disuelto). Cada sonda incluye un sensor de temperatura (Fig. 3).



Fig. 3.- Preparación y utilización del multiparámetro HQ40d.

6.3.- Identificación de las muestras

Todas las muestras fueron revisadas, identificadas y tratadas en el Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados, utilizando el estereomicroscopio (Stemi DV4) y las claves de Shepard & Aguilar (2010), McCafferty (1981), Spangler (1983), Spangler & Santiago (1987), Machado & Rincón (1989), Merrit & Cummins (1996), Roldán (1996, 2003), Silva *et al.* (2007), Springer *et al.* (2010), Epler (2010), Pacheco (2010), Netto *et al.* (2011) y Pescador *et al.* (1995).

6.4.- Análisis de los datos

Estos fueron agrupados por fecha de recolecta y estación, una vez organizados se obtuvieron datos de orden, familia, género y número de individuos, los cuales se tabularon y graficaron. Para determinar la diversidad en esta subcuenca se utilizó el índice de Shannon-Weaver (Margalef 1998, Hammer *et al.* 2001) y para el grado de similitud entre las distintas estaciones se aplicó el índice de Sorenson cuantitativo (Hammer *et al.* 2001). La calidad del agua en cada estación fue evaluada mediante el índice biótico "*Biological Monitoring Working Party/Panamá* (BMWP/Pan.) (Cornejo & Boyero 2009).

7.- Resultados y discusión

7.1.- Diversidad de insectos acuáticos durante el estudio

Para los cinco meses de muestreo realizados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera se obtuvieron 5,849 individuos, identificados en 115 géneros (19 sin determinar) pertenecientes a 62 familias (tres sin determinar) en 16 órdenes, de los cuales 10 pertenecen a la clase Insecta. Los seis restantes pertenecen a los órdenes Acarina, Amphipoda, Basommatophora, Haplotaxida, Isopoda y Tricladida (Cuadro 2).

Comparando estos resultados con González (2011), en donde de 7 estaciones y 8 meses de muestreo se obtuvieron 69 géneros y 38 familias en 9 órdenes de la clase Insecta, los cuales fueron recolectados principalmente durante la temporada seca. En dicha temporada se recolectaron un total de 60 géneros dentro de 35 familias, mientras que, la temporada lluviosa solo aportó 9 géneros y 3 familias adicionales. Estos resultados y algunos otros como los de Guinard (2011), y Pino (2006), realizados en ríos de la provincia de Chiriquí, al ser comparados con este estudio presentan una menor diversidad a pesar que se extienden hasta la temporada lluviosa. Esto ayuda a dar testimonio de que la temporada seca es ideal para evaluar la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos, ya evaluaciones más extensas serian útiles para

determinar fenómenos puntuales de contaminación, aunque se debe tomar en cuenta la ubicación de las estaciones, los factores físicos y antropogénicos que afecten a cada una de estas.

Cuadro 2.- Individuos encontrados por estación en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera, durante la época seca (diciembre de 2011–abril de 2012).

Orden	Familia	Género*	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Total	%
Acarina	Hydrachnidae	S/D	0	0	1	0	0	0	1	0.02
Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i>	17	295	0	0	0	0	312	5.33
Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	0	0	6	45	0	0	51	0.87
	Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	0	2	0	0	0	0	2	0.03
Coleoptera	Cantharidae	S/D	3	1	0	0	0	0	4	0.07
	Carabidae	S/D	4	2	0	0	0	0	6	0.10
	Chrysomelidae	S/D	0	0	1	0	0	0	1	0.02
	Dryopidae	<i>Dryops</i>	0	0	3	0	38	148	189	3.23
	Dysticidae	<i>Agametrus</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02
	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	0	1	29	4	10	3	47	0.80
		<i>Disersus</i>	0	0	0	0	1	0	1	0.02
		<i>Heterelmis</i>	7	9	3	12	16	9	56	0.96
		<i>Hexanchorus</i>	9	4	0	0	0	1	14	0.24
		<i>Macrelmis</i>	3	1	2	0	8	6	20	0.34
		<i>Microcylloepus</i>	0	0	0	0	0	3	3	0.05
		<i>Neoelmis</i>	0	0	0	0	1	2	3	0.05
		<i>Phanocerus</i>	22	17	0	0	0	1	40	0.68
		<i>Promoresia</i>	4	0	0	0	0	0	4	0.07
	<i>Stenelmis</i>	0	0	5	0	3	0	8	0.14	
	Gyrinidae	<i>Dineutus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0.02
	Lampyridae	S/D	1	1	1	1	0	0	4	0.07
	Limnichidae	<i>Limnichus</i>	0	0	3	0	2	0	5	0.09
	Lutrochidae	<i>Lutrochus</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>	0	3	1	0	38	19	61	1.04
Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	0	3	0	0	0	1	4	0.07	
	<i>Ptilodactyla</i>	2	2	0	0	0	0	4	0.07	
	<i>Tetraglossa</i>	177	113	0	0	1	0	291	4.98	

	Sphaeriidae	<i>Sphaerius</i>	0	0	1	0	0	0	1	0.02	
	Staphylinidae	<i>Carpelimus</i>	0	0	8	0	54	40	102	1.74	
		<i>Philonthus</i>	1	0	1	0	0	0	2	0.03	
		S/D	0	0	0	0	1	0	1	0.02	
		<i>Xantholinus</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02	
Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i>	4	1	0	0	0	0	5	0.09	
	Blephariceridae	<i>Limonicola</i>	5	0	0	14	5	0	24	0.41	
		S/D	7	0	1	0	0	0	8	0.14	
	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i>	1	0	0	0	0	0	1	0.02	
		<i>Stilobezzia</i>	0	0	0	0	1	0	1	0.02	
		S/D	2	0	0	0	0	0	2	0.03	
	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	0	0	1	1	0	0	2	0.03	
		<i>Orthocladus</i>	0	0	0	1	0	0	1	0.02	
		<i>Procladius</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02	
		S/D	100	176	150	106	58	24	614	10.50	
	Dolichopodidae	<i>Raphium</i>	1	1	0	0	0	0	2	0.03	
	Empididae	<i>Chelifera</i>	3	1	0	0	0	0	4	0.07	
		<i>Hemerodromia</i>	1	1	0	0	2	0	4	0.07	
		<i>Oreogeton</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02	
	Ephydriidae	S/D	1	0	0	0	0	0	1	0.02	
	Psychodidae	<i>Maruina</i>	11	4	9	2	7	3	36	0.62	
		S/D	1	0	0	0	0	0	1	0.02	
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	142	129	156	282	16	15	740	12.65	
	Stratiomyidae	<i>Allognosta</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02	
	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	0	0	0	0	3	0	3	0.05	
		<i>Limonia</i>	1	0	1	0	0	0	2	0.03	
		<i>Molophilus</i>	16	5	0	0	0	0	21	0.36	
		<i>Tipula</i>	5	2	2	1	0	0	10	0.17	
		S/D	4	0	0	0	0	0	4	0.07	
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	185	75	33	37	1	4	335	5.73
			<i>Baetodes</i>	48	13	69	52	12	8	202	3.45
			<i>Camelobaetidius</i>	89	28	85	23	8	16	249	4.26
<i>Mayobaetis</i>			0	0	0	1	0	0	1	0.02	
<i>Moribaetis</i>			0	0	0	0	0	3	3	0.05	
Heptageniidae		<i>Epeorus</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02	
Leptohyphidae		<i>Leptohyphes</i>	0	0	17	4	64	38	123	2.10	

		<i>Tricorythodes</i>	1	0	29	12	5	5	52	0.89
	Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	0	0	0	1	0	1	2	0.03
		<i>Thraulodes</i>	0	0	6	1	108	156	271	4.63
		<i>Traverella</i>	0	0	0	0	0	1	1	0.02
Haplotaaxida	S/D	S/D	13	2	0	0	0	0	15	0.26
Hemiptera	Belostomatidae	<i>Belostoma</i>	0	0	13	0	0	1	14	0.24
	Gelastocoridae	<i>Gelastocoris</i>	0	0	0	1	0	0	1	0.02
	Gerridae	<i>Eurygerris</i>	39	33	0	0	0	0	72	1.23
		<i>Limnogonus</i>	0	0	0	0	0	1	1	0.02
	Hebridae	<i>Hebrus</i>	0	0	1	0	12	2	15	0.26
	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	0	0	0	0	3	1	4	0.07
		<i>Limnocoris</i>	0	0	1	0	4	14	19	0.32
		<i>Pelocoris</i>	0	0	0	0	9	3	12	0.21
	Saldidae	S/D	1	0	0	0	0	0	1	0.02
	Veliidae	<i>Microvelia</i>	1	0	0	0	0	0	1	0.02
<i>Rhagovelia</i>		0	1	0	0	1	7	9	0.15	
S/D		0	0	0	0	0	1	1	0.02	
Isopoda	S/D	S/D	2	0	0	1	0	0	3	0.05
Lepidoptera	Crambidae	<i>Crambus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0.02
		S/D	0	0	38	6	0	1	45	0.77
	Noctuidae	<i>Archanara</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	0	0	10	1	12	7	30	0.51
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	24	19	14	1	12	2	72	1.23
	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	0	0	1	0	10	16	27	0.46
	Cordulegastridae	<i>Cordulegaster</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02
	Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	0	1	27	3	6	13	50	0.85
	Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	0	0	0	0	1	1	2	0.03
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	42	4	0	2	66	66	180	3.08
Pulmonata	S/D	S/D	3	0	0	0	0	0	3	0.05
Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	1	0	0	0	3	1	5	0.09
	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	21	29	33	0	5	0	88	1.50
		<i>Mortoniella</i>	12	6	9	0	0	0	27	0.46
		<i>Protoptila</i>	2	4	3	1	0	0	10	0.17
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	46	236	86	15	11	6	400	6.84
	Hydropsychidae	<i>Calosopsyche</i>	14	0	0	0	0	0	14	0.24
<i>Centromacronema</i>		0	0	0	0	3	1	4	0.07	

		<i>Leptonema</i>	11	16	119	25	75	90	336	5.74
		<i>Macronema</i>	0	0	0	0	5	0	5	0.09
		<i>Smicridea</i>	6	1	101	57	9	35	209	3.57
	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	0	0	0	0	0	1	1	0.02
		<i>Metrichia</i>	3	0	0	3	6	2	14	0.24
		<i>Ochrotrichia</i>	8	2	3	5	0	0	18	0.31
		<i>Zumatrichia</i>	1	0	0	0	0	0	1	0.02
	Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma</i>	7	2	0	0	0	0	9	0.15
	Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i>	0	0	0	0	9	1	10	0.17
		<i>Oecetis</i>	0	0	0	0	3	0	3	0.05
		<i>Triplectides</i>	0	0	0	0	1	0	1	0.02
		S/D	0	0	0	1	1	0	2	0.03
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	0	0	1	0	24	44	69	1.18
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	13	22	1	3	8	1	48	0.82
		<i>Polyplectropus</i>	0	0	0	0	15	9	24	0.41
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	0	1	0	0	0	0	1	0.02
Total	59 Familias, 3 S/D	96 géneros, 19 S/D	1,148	1,278	1,087	725	777	834	5,849	100.00

* S/D = Sin determinar.

7.2.- Abundancia de morfoespecies

El sitio de muestreo que presentó el mayor número de individuos en este estudio fue la estación 2, con 1,278 individuos. Seguido a ésta se encontró la estación 1, con 1,148 individuos, luego las estaciones 3, 6, 5, con 1,087, 834 y 777 individuos, respectivamente. La que presentó el menor número fue la estación 3, con 725 individuos (Fig. 4). La estación 2 coincide con los resultados de Pino (2006) en el río David donde la misma estación presentó el mayor número de individuos recolectados. Otro estudio en el que se tiene la coincidencia de que la estación 2 presenta el mayor número de individuos recolectados fue, el realizado por González (2011) en el río Mula en el distrito de Bugaba, provincia de Chiriquí, cabe destacar que la ubicación de estas estaciones corresponde a la parte alta de estas subcuencas lo cual podría representar el porqué de esta similitud entre estudios.

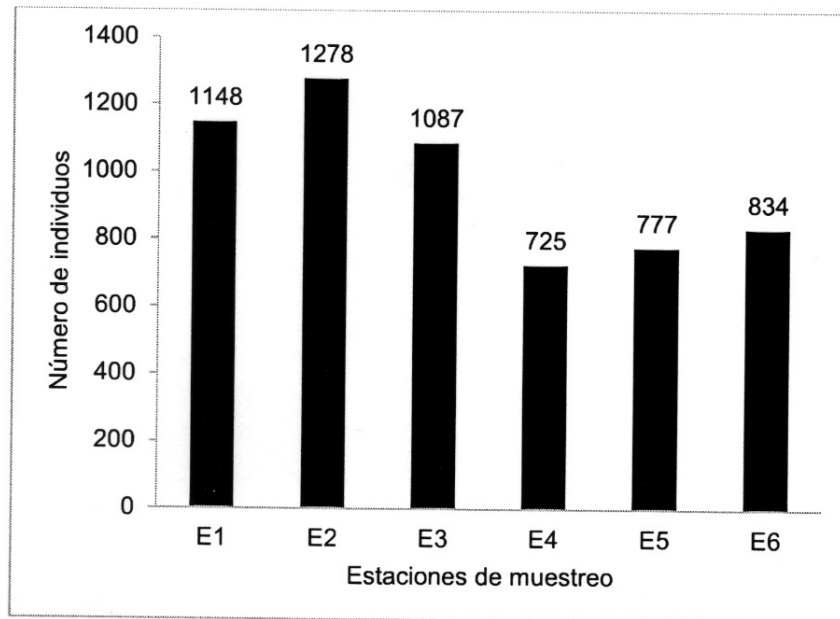


Fig. 4.- Número de individuos por estación de muestreo recolectados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera durante la época seca.

La mayor abundancia en las estaciones 1 y 2 pudo deberse a que ambas estaban dentro de un área protegida, como lo es el Parque Nacional Volcán Barú, rodeadas por un bosque primario, con una temperatura estable y aguas bien oxigenadas. Mientras que la pequeña diferencia existente entre ambas pudo estar influenciada por la intensidad de la corriente en cada una, puesto que la estación 1 presentó una corriente fuerte y en la estación 2 la corriente cesaba y había un remanso bastante profundo que brindaba un microhábitat distinto para los organismos acuáticos. También es importante destacar la gran diferencia que se presentó en las estaciones 3 y 4, este cambio se debió principalmente, a que entre ambas estaciones se ubica un proyecto en donde se canalizan las aguas del río a través de tuberías con destino al reservorio del proyecto hidroeléctrico La Estrella, dejando para la época seca la porción del río donde estaba ubicada la estación 4, con un flujo intermitente o totalmente nulo, causando aumento de la temperatura, del pH y disminución del oxígeno disuelto, y por ende, la baja presencia de toda clase de organismos acuáticos, además de que se da el vertido de los desechos de un beneficio de café en la zona. Según

Fernández & Springer (2008) la disminución del caudal, debido al inicio de la época seca, es un factor importante a considerar, ya que al mismo tiempo aumenta la actividad de los beneficios y por consiguiente disminuye la capacidad de dilución de las aguas receptores. Los procesos de dilución son de gran importancia en la asimilación de desechos y los períodos largos de flujos bajos de agua (correspondientes a la época seca) afectan la capacidad de los ríos de aceptar fuertes cargas de desechos sin sufrir daños. Las estaciones 5 y 6, presentaron características muy similares con una corriente fuerte y aguas muy oxigenadas, por tanto la diferencia en el número de individuos no fue elevada.

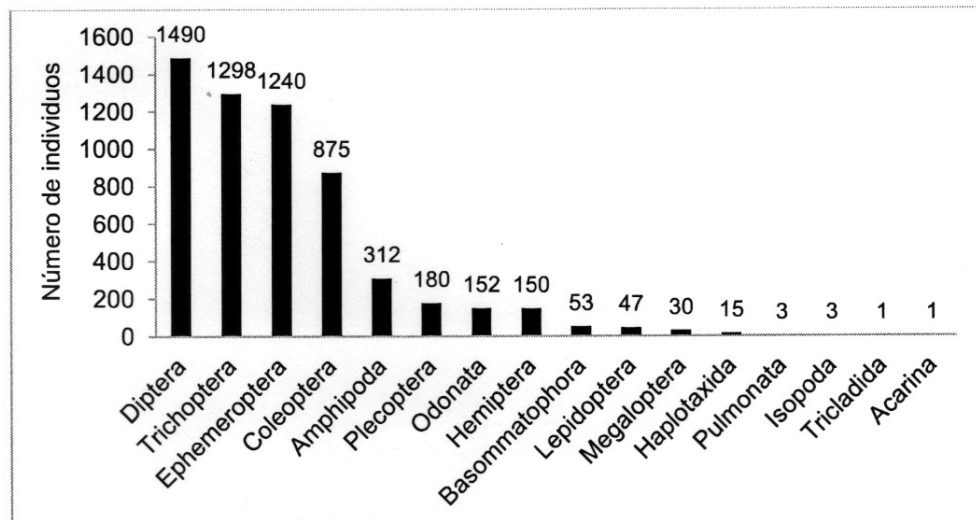


Fig. 5.- Número de individuos por orden encontrado en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

En referencia al número de individuos por orden, se puede destacar que el orden Diptera presentó la mayor cantidad de organismos, con un total de 1,490 individuos dentro del cual las familias dominantes fueron Simuliidae y Chironomidae con un 12.65% y 10.57% del total del muestreo respectivamente. Estudios realizados por Medianero & Samaniego (2004) hacen referencia al hecho de que las especies de Chironomidae habitan en aguas con un ligero a un gran estado de alteración. La presencia de la familia Chironomidae, como una de las más comunes, también ha sido documentado por Wittgreen & Villanero

(1998), Rodríguez & Bonilla (1999), Arauz et al (2000) y Rodríguez et al (2000). Seguido en abundancia se encontró el orden Trichoptera, con 1,298 individuos dentro del mismo la familia Hydropsychidae fue la más representada con un 9.71% del total, en la cual destacan los géneros Leptonema y Smicridea, esto hace coincidir este estudio con el realizado por Bernal & Castillo (2012) en el río Mula, donde la misma familia presentó la mayor cantidad de individuos dentro del orden, con los géneros Leptonema y Smicridea. Sin embargo, en estudios realizados por Araúz et al (2000), Medianero & Samaniego (2004) y Pino (2006), la familia más abundante y diversa fue Leptoceridae, la cual presentó el mayor número de géneros, en comparación con las otras familias. A continuación el orden Ephemeroptera con 1,240 individuos, Coleoptera con 875 individuos, Amphipoda con 312 individuos, Plecoptera con 180 individuos, Odonata con 152 individuos, Hemiptera con 150 individuos, Basommatophora, Lepidoptera, Megaloptera, Haplotaaxida con 53, 47, 30 y 15 individuos, respectivamente, Pulmonata e Isopoda con 3 individuos cada uno y los órdenes Tricladida y Acarina cada uno con 1 representante (Fig. 5).

Por otra parte, si nos enfocamos a la cantidad de familias presentes en cada orden de la clase Insecta, las tres primeras posiciones las ocupan Coleoptera con 14 familias y 28 géneros (5 S/D), Diptera con 11 familias y 24 géneros (6 S/D) y Trichoptera con nueve familias y 22 géneros (1 S/D), mientras que los menos representados fueron los órdenes Megaloptera y Plecoptera, con una familia y un género cada uno (Fig. 6). Si comparamos estos resultados con los obtenidos por González (2011) no hay coincidencia en las cantidades de familias (38) y géneros (69) en dos temporadas, pero si se evidencia una diversidad y abundancia de familias mayor en este estudio donde se documentaron 62 familias y 115 géneros en una temporada. Por otra parte si coincide con los resultados de Pino (2009) en lo que respecta al orden Coleoptera puesto que es el orden más abundante en ambos estudios.

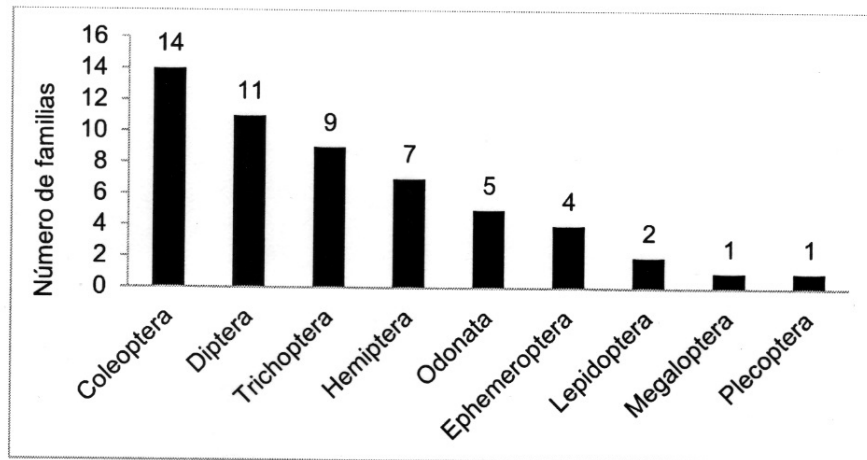


Fig. 6.- Cantidad de familias por orden de la clase Insecta identificados en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

7.3.- Índice de diversidad

El índice de diversidad de Shannon-Weaver para los macroinvertebrados en la subcuenca alta media y baja del río Caldera durante la época seca fue alto ($H' = 3.36$), considerando los límites establecidos por Margalef (1998), que considera que valores de $1.5 < H' < 2.7$, para representar áreas de diversidad media y $H' \geq 2.7$ representan una alta diversidad (Cuadro 3). Según Margalef (1998), se comprende que una diversidad alta, entonces, puede considerarse como indicio de condiciones próximas al equilibrio.

Cuadro 3.- Diversidad total y para las seis estaciones en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

Estación	Número de individuos	Riqueza de especies	Índice de Shannon-Weaver (H')*
1	1,148	54	2.91
2	1,278	51	2.46
3	1,087	46	2.82
4	724	33	2.22
5	777	51	3.17
6	834	49	2.82
Total	5,849	115	3.36

* $H' \leq 1.5$ = diversidad baja, $1.5 < H' < 2.7$ = diversidad media, $H' \geq 2.7$ = diversidad alta (Margalef 1998).

Por otra parte, si se evalúan las estaciones por separado, se tiene que la más diversa fue la estación 6, que a pesar de tener un bajo número de individuos presentó una riqueza de especies similar a la de la estación 2, que presentó el mayor número de individuos durante todo el estudio. También se debe señalar que la estación 4, como la que presentó la diversidad más baja de todas, sin embargo, se mantiene en un rango que corresponde a diversidad media, a pesar del daño que recibe la zona donde se ubica, por el ya mencionado proyecto de canalización, donde casi un 100% de las aguas son conducidas por tuberías hacia el lago del proyecto hidroeléctrico La Estrella. En Guevara (2011) se aclara que además de los efectos ocasionados por las represas hidroeléctricas también existen actividades humanas que cambian la composición química del agua, lo cual se refleja en la presencia o ausencia de taxones sensibles a la contaminación o cambios físicos relacionados con la profundidad de pozas, sinuosidad, ancho y profundidad del cauce, lo cual repercute en las poblaciones acuáticas. Este punto también recibe los desechos de un beneficio de café. Fernández & Springer (2008) demuestran que el índice de Shannon-Weaver refleja el efecto negativo de los vertidos de los beneficios sobre la diversidad de la fauna bentónica, cuando las aguas son limpias y presentan una baja carga orgánica se esperan una mayor diversidad y una baja dominancia.

7.4.- Índice de similitud

Para este estudio se utilizó el índice de Sorenson cuantitativo (Hammer *et al.* 2001), debido a que este incluye valores de la cantidad de individuos por estación y no se basa solo en la presencia o ausencia de los mismo. Las estaciones que durante la época seca mostraron la mayor similitud fueron las estaciones 5 y 6 con un 69.3%, luego les siguieron las estaciones 3 y 4 con 57.2%, y las estaciones 2 y 6 fueron las más disímiles, con 11.3%. (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Porcentaje de similitud de Sorenson cuantitativo para las seis estaciones de muestreo en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

Estación	E2	E3	E4	E5	E6
E1	0.566 (56.6%)	0.485 (48.5%)	0.443 (44.3%)	0.228 (22.8%)	0.155 (15.5%)
E2	-	0.444 (44.4%)	0.363 (36.3%)	0.169 (16.9%)	0.113 (11.3%)
E3	-	-	0.572 (57.2%)	0.317 (31.7%)	0.289 (28.9%)
E4	-	-	-	0.249 (24.9%)	0.217(21.7%)
E5	-	-	-	-	0.693 (69.3%)

Si nos enfocamos en las estaciones con mayor similitud se puede destacar que las 5 y 6, 3 y 4 ó 1 y 2 se ubicaban en áreas muy similares en lo que respecta a cobertura boscosa y estructura de la subcuenca. Por ejemplo, de estas tres comparaciones el sitio donde estaban ubicadas las estaciones 5 y 6, era igual para las dos, un lecho rocoso con rápidos, con abundante vegetación en sus orillas y con cierto grado de intervención humana (actividades de recreación) aun así no se demuestra cambio significativo entre estos puntos. En las estaciones 3 y 4 el área presentaba un alto grado de actividad antropogénica, puesto que estas estaciones se ubican en alto boquete, donde se da vertido de desechos de un beneficio de café específicamente en las cercanías al puente Wilson, donde se canalizan las aguas del río Caldera, para el proyecto hidroeléctrico La Estrella. La zona tiene un sustrato rocoso y unos rápidos bastante fuertes, con la excepción de que la estación 4 se ve perturbada por la canalización, el cauce tiene una anchura considerable y presenta gran cobertura vegetal, a pesar del crecimiento de la población. Esto ha de deberse a que Boquete es un área turística y a que las laderas del río son muy altas.

En las estaciones 1 y 2, la similitud baja un tanto más, esto debido posiblemente a que al estar ubicadas a una altitud superior, la temperatura baja y la velocidad de la corriente aumenta por la pendiente de la zona. Se ha de tomar en cuenta que, la estación 1 se ubicaba en un punto con fuertes rápidos y la estación 2 es más que todo un remanso profundo una poza por decirlo de otra

manera, lo que la hace muy distinta a la estación 1 ya que aquí la fuerza de la corriente se interrumpe.

7.5.- Índice biótico BMWP/Pan. para la calidad del agua

Utilizando el índice biótico BMWP/Pan., para las distintas estaciones de muestreo. El índice BMWP, parece ser una buena medida para reflejar muy bien la contaminación orgánica Fernández & Springer (2008). Con este se determinó que las aguas son de calidad excelente, con la excepción de la estación 4, que presentó un puntaje de 117, lo que corresponde a aguas de calidad buena. El puntaje más elevado lo presentó la estación 5, con 182 puntos, luego las estaciones 2 con 169 puntos, 1 y 6 con 157 en ambas, y 3 con 152 puntos (Cuadro 5).

El puntaje obtenido en la estación 5 permite reconocer la importancia de la diversidad, ya que este es el punto donde se presentó el índice de diversidad más elevado. Por ello, este sitio presenta un puntaje alto para el BMWP/Pan., debido a que presentó una gran cantidad de familias, y muchas de estas se les ha asignado el puntaje máximo, debido a que son muy exigentes en cuanto a la calidad de las aguas donde habitan.

Por otra parte, las estaciones 3 y 4 llaman mucho la atención debido a que se encuentran en las inmediaciones del pueblo de Boquete, ya que por lo general se correlaciona un aumento de la contaminación con la cercanía de los ríos a los poblados. Sin embargo, la estación 3 presentó aguas clasificadas como de clase I, lo que corresponden a aguas de calidad excelente, y la estación 4, a pesar de estar afectada por un proyecto de canalización que la deja sin agua hasta cuatro o cinco meses o recibe el agua de manera intermitente, además de los desechos de café vertidos en la zona, mantiene aún un puntaje clase II, que las ubican como aguas de buena calidad o no alteradas de manera sensible. Fernández & Springer (2008), encontraron un efecto importante de los vertidos de los beneficios de café sobre las poblaciones de los insectos acuáticos, por lo que se considera que los parámetros físicos y

químicos establecidos por ley no detectan el deterioro de los ríos y sus comunidades.

También en la parte alta de la subcuenca se destacan las estaciones 1 y 2, porque se encuentran dentro de un área protegida, específicamente en el Parque Nacional Volcán Barú, y entre éstas, la estación 2 presentó el segundo puntaje más elevado; es más, ambas estaciones presentan puntajes por encima de los 150, que corresponden a aguas de calidad excelente y presentan una alta diversidad.

Cuadro 5.- Calidad del agua por estación, según el BMWP'/Pan. para la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

Estación	1	2	3	4	5	6
Puntaje	157	169	152	117	182	157
Calidad	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Excelente

*>150 = Aguas de calidad excelente; 101 – 150 = Aguas de calidad buena o no alteradas de manera sensible (Cornejo & Boyero 2009).

7.6.- Parámetros físicos y químicos

En lo que se refiere al estado físico y químico de las aguas de la subcuenca alta, media y baja del río Caldera, se encontró que las estaciones 1 y 2, ubicadas en la parte alta de esta subcuenca, presentaron en promedio un pH de 5.44 y 5.37, respectivamente (Cuadro 6). Estos valores están ligeramente por debajo de los rangos establecidos por la Legislación de la república de Panamá (2008), que en su Decreto ejecutivo N°75 para “las aguas continentales de uso recreativo con o sin contacto directo”, deben presentar un rango de pH entre 6.5 y 8.5. En las estaciones restantes, los cambios de pH con respecto a las dos primeras estaciones, fueron mínimos y mantenían un rango similar desde la

parte alta de la subcuenca hasta su parte baja. Esto permite suponer que el pH encontrado es normal en estas aguas, dado que no se apreciaba una contaminación evidente (Cuadro 6).

Referente a la conductividad, en las estaciones 1 y 2 se obtuvieron valores promedio de 52.83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 49.46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Tomando en consideración que estas estaciones se ubican en la parte alta de la subcuenca que es una región montañosa, fueron comparadas con lo sugerido por Roldán (2003), quien menciona que la conductividad en las aguas superficiales tropicales de montaña por lo regular es muy baja (aguas oligotróficas), entre 10 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mientras que en las estaciones restantes, los promedios de conductividad tienen una tendencia cercana a los 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En Vásquez *et al.* (2012) se consideran como criterios de referencia para la conductividad los siguientes valores: para pisos basales: ≤ 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para pre-montanos: ≤ 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y para montanos: ≤ 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. También en otro apartado establecen referente a los pisos altitudinales donde el basal o cálido o tropical, se establece a partir de los 0 a los 1000 m.s.n.m., que sería el más acorde para la posición que ocupan las estaciones 3 a 6 en la subcuenca del río Caldera. Por lo tanto, si se comparan estos valores, se pueden ver claramente que los resultados de conductividad están dentro de los parámetros establecidos para los pisos basales (Cuadro 6).

Según Guevara (2011), cuando existen alteraciones de carácter antropogénico, la condición física y química del agua presenta variaciones que limitan a las poblaciones de insectos acuáticos. El oxígeno disuelto está influenciado por la actividad biológica, temperatura y turbulencia del agua, los ambientes contaminados son los que más se relacionan con bajos valores de oxígeno disuelto, en comparación con el rango normal de condiciones naturales. Los datos obtenidos para el oxígeno disuelto en las estaciones de muestreo de la subcuenca alta, media y baja, mostraron valores, que comparados con los establecidos por Roldán (2003), donde estos varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L, apenas muestran una ligera variación, excepto en la estación 4, que presentó

una ligera disminución (valor de 6.46), lo que posiblemente sea efecto del cese del flujo de agua, principalmente durante la temporada seca, debido a la canalización de las aguas de esta subcuenca al proyecto hidroeléctrico La Estrella y también el hecho de que recibe desechos de un beneficio de café, lo cual según Fernández & Springer (2008), aumenta el consumo de oxígeno por la descomposición de la materia orgánica (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Parámetros físicos y químicos en las seis estaciones muestreadas en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.

Estación	Variable	Máx.	Min.	Promedio	DS*
1	pH	5.61	5.20	5.44	0.11
	Conductividad(μ S/cm)	60.00	39.50	52.83	7.11
	LDO(mg/l)	8.10	7.28	7.85	0.34
	Temperatura($^{\circ}$ C)	19.40	13.30	15.95	1.88
2	pH	5.65	5.20	5.37	0.13
	Conductividad	55.60	40.00	49.46	5.33
	LDO	8.31	7.50	8.02	0.29
	Temperatura	18.56	12.76	16.01	1.74
3	pH	5.99	5.17	5.46	0.28
	Conductividad	86.20	65.00	77.43	7.44
	LDO	8.47	7.50	7.93	0.30
	Temperatura	21.26	19.26	20.36	0.64
4	pH	5.87	5.20	5.33	0.21
	Conductividad	125.50	68.00	110.93	19.98
	LDO	8.61	5.60	6.46	1.17
	Temperatura	23.23	20.53	21.79	0.79
5	pH	5.84	5.15	5.41	0.24
	Conductividad	107.00	72.60	91.72	11.70
	LDO	8.23	8.07	8.15	0.07
	Temperatura	26.93	22.63	24.16	1.75
6	pH	5.90	5.15	5.40	0.26
	Conductividad	106.70	75.60	92.17	10.60
	LDO	8.23	8.03	8.13	0.08
	Temperatura	25.06	22.60	23.84	1.09

*DS= desviación estándar.

8.- Conclusiones

- La subcuenca alta, media y baja del río Caldera presentó una riqueza de 5,849 individuos, identificados en 16 órdenes, de los cuales 10 pertenecen a la clase Insecta. A su vez se registró una diversidad de 115 géneros (19 sin determinar) en 62 familias (3 sin determinar).
- La estación 2 presentó la mayor abundancia con 1,278 individuos, mientras que la estación 4 presentó la más baja, con 725.
- Diptera presentó el mayor número de individuos con un total de 1,490, y los menos representados fueron los órdenes Tricladida y Acarina.
- Coleoptera presentó el mayor número de familias, con un total de 14, mientras que los órdenes Megaloptera y Plecoptera solo presentaron una familia.
- Acorde con el índice de Shannon-Weaver, considerando todas las estaciones de muestreo se obtuvo una alta diversidad ($H' = 3.36$) para la subcuenca alta, media y baja del río Caldera.
- La estación 5 presentó una diversidad alta ($H' = 3.17$) mientras que la estación 4 presentó una diversidad media ($H' = 2.22$).
- Según el índice de Sorenson cuantitativo, las estaciones con mayor similitud fueron 5 y 6, mientras que, las más disímiles fueron las estaciones 2 y 6.
- Según el índice biótico BMWP'/Pan., las aguas de la subcuenca alta, media y baja del río Caldera son de calidad excelente.

- Las estaciones de esta subcuenca presentaron un pH levemente bajo sin afectar notablemente la entomofauna acuática.
- La conductividad de las estaciones estuvo acorde con los pisos altitudinales en donde se ubicaban.
- Los valores de LDO en las seis estaciones de muestreo establecidas en la subcuenca alta, media y baja del río Caldera permanecieron entre rangos normales, excepto en la estación 4, que presentó un valor bajo.

9.- Bibliografía

- Araúz, B., R. Amores & E. Medianero. 2000. Diversidad y distribución de insectos acuáticos a lo largo del cauce del río Chico (provincia de Chiriquí, República de Panamá). *Revista Scientia*. Panamá. Vol. 15 (1): 27-45 pp.
- Arosemena, J. 2010. Gestión del recurso hídrico en la cuenca alta del río Caldera, Panamá. Tesis. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. 193 pp.
- Bernal, J. & H. Castillo. 2012. Diversidad, distribución de los insectos acuáticos y calidad del agua de la subcuenca alta y media del río Mula, Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia*. Vol. 14. N°1: 35-52 pp.
- Contraloría general de la república. 2000. Estadística Panameña. Situación física. Panamá, PA, Dirección de Estadística y Censo. 40 pp.
- Cornejo, A. & L. Boyero. 2009. Efectos de la Contaminación en la Estructura y Función de Ecosistemas Fluviales en Panamá: Determinación de la calidad del agua y la integridad del ecosistema a partir de macroinvertebrados bioindicadores. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. 12 pp.
- Epler, J.H. 2010. The water beetles of Florida. State of Florida Department of Environmental Protection Division of Environmental Assessment and Restoration Tallahassee. 409 pp.
- Fernández, L. & M. Springer. 2008. El efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos del Valle Central (Alajuela) de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. Vol. 56 (4): 237-256 pp.
- González G. 2011. Diversidad y distribución de la comunidad de insectos acuáticos de la subcuenca alta media y baja del río Mula Provincia de Chiriquí, república de Panamá. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiriquí. 82 pp.

- Guevara, M. 2011. Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. Vol. 59 (2): 635-654 pp.
- Guinard, J. 2011. Diversidad y distribución de la comunidad de insectos acuáticos de la subcuenca alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiriquí. 86 pp.
- Hammer, O.; D. A. T. Harper & P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4(1):9 pp.
- Hanson, P.; M. Springer, & A. Ramírez. 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista Biología Tropical*. Vol. 58 (4): 3-37 pp.
- Machado, T. & J. Rincón. 1989. Distribución, ecología e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Tesis. Universidad de Antioquia. 324 pp.
- Margalef, R. 1998. *Ecología*. Novena edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 951 pp.
- McCafferty, W. 1981. *Aquatic Entomology*. Boston: Science Books International. 448 pp.
- Medianero, E. & M. Samaniego. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomol. Mex.*, 43(3): 279-294 pp.
- Merritt, R. & K. Cummins. 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Third Edition. E. U. Edition Kendall/Hunt Publishing Company. 682 pp.

- Legislación de la república de Panamá. Ministerio de Economía y Finanzas. 2008. Decreto ejecutivo N°75 "Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con o sin contacto directo". Gaceta Oficial Digital: 26078. 10 pp.
- Netto J., F. Falcão, & N. Hamada. 2011. Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) ocorrentes em Roraima, Brasil: novos registros e chaves para gêneros e espécies no estágio ninfal. *Revista Brasileira de Entomologia* 55(4): 516–548 pp.
- Pacheco, B. 2010. Diversidad Taxonómica y Distribución de Chinchas Patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Monografía, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, 128 pp.
- Pescador, M., A. Rasmussen & S. Harris. 1995. Identification manual for the caddisfly (Trichoptera) larvae of Florida. State of Florida Department of Environmental Protection Division of Water Facilities Tallahassee. 132 pp.
- Pino, R. 2006. Diversidad y distribución de la comunidad de insectos acuáticos de la subcuenca alta y media del río David, provincia de Chiriquí, república de Panamá. 90 pp.
- Rodríguez V. & E. Bonilla. 1999. Estudio taxonómico de la comunidad de insectos acuáticos en Los Corrales, distrito cabecera de San Francisco, provincia de Veraguas, Republica de Panamá. *Scientia (Panamá)* Vol. 14, N° 2, 65–77 pp.
- Rodríguez, V., M. Barrera & Y. Delgado. 2000. Insectos acuáticos de la quebrada El Salto, en el distrito de las Palmas, provincia de Veraguas, república de Panamá. *Scientia, Panamá*. 15 (2): 33–44 pp.

- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN – Colombia. Conciencias – Universidad de Antioquia. Ed. Presencia Ltda., Santafé de Bogotá. 217 pp.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 170 pp.
- Sermeño Chicas, J. M., L. Serrano, M. Springer, M. Paniagua, D. Pérez, A. Rivas R. Menjívar, R. Bonilla, F. Carranza, J. Flores, C. Gonzáles, P. Gutiérrez, M. Hernández, A. Monterrosa, A. Arias. 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). En: Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 43 pp.
- Shepard, W.D. & C. Aguilar. 2010. Estudio preliminar de las familias de escarabajos acuáticos Dryopidae, Elmidae, Lutrochidae Y Psephenidae conocidos de Paraguay (Coleoptera: Byrrhoidea). Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag. Vol. 16 (1), 30-42 pp.
- Silva M., J. Nessimian, & N. Ferreira. 2007. Chaves para identificação dos gêneros de Elmidae (Coleoptera) ocorrentes no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Revista Brasileira de Entomología 51(1): 42-53pp.
- Spangler, P. 1983. Immature Stages And Biology Of *Tetraglossa palpalis* Champion. *Entomological News* 94:161-175 pp.
- Spangler P. & S. Santiago. 1987. A Revision of the Neotropical Aquatic Beetle Genera *Disersus*, *Pseudodisersus*, and *Potamophilops* (Coleoptera:

Elmidae). Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press. Smithsonian contributions to zoology, N° 446. 40pp.

Springer, M. 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I: Biomonitorio acuático. Revista Biología Tropical. Vol. 58 (4): 53-59 pp.

Vásquez Zapata G. L., L. Herrera, J. Cantera, A. Galvis, D. Cardona, I. Hurtado. 2012. Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas Vol. 24: 112-128 pp.

Wittgreen, Z. & S. Villanero. 1998. Inventario de macroinvertebrados en el río La Villa, Península de Azuero. Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Panamá. 122 pp.

10.- Recomendaciones

- Realizar los muestreos durante la época seca para establecer mejor la diversidad del área.
- Tomar en cuenta los diferentes sustratos y nichos en cada punto donde se realicen los muestreos ya sean raíces, troncos, rocas, principalmente arena y fango.
- Considerar la implementación de un muestreo cuantitativo para evitar sesgos en la diversidad y abundancia.
- Implementar nuevos tipos de muestreo que se adapten a cada zona

11.- Anexos

Imágenes de algunos de los géneros encontrados en este estudio.



Fig. 7.- Larva de Coleoptera, Ptilodactylidae, *Ptilodactyla*.



Fig. 8.- Larva de Trichoptera, Hydropsychidae, *Calosopsyche*.

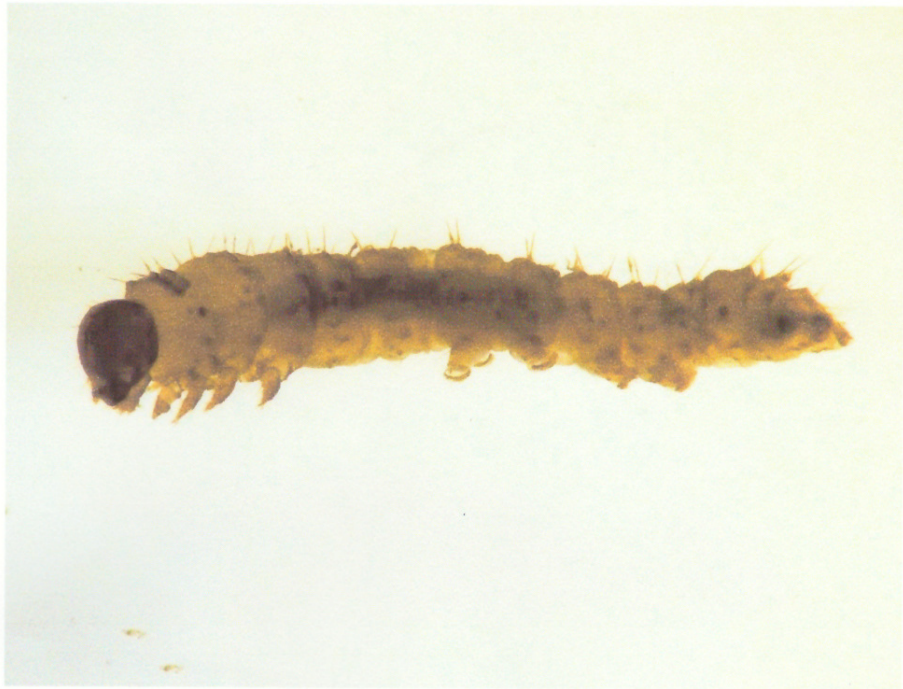


Fig. 9.- Larva de Lepidoptera, Noctuidae, *Archanara*



Fig. 10.- Ninfa de Odonata, Megapodagrionidae, *Heteragrion*.



Fig. 11.- Ninfa de Odonata, Cordulegastridae, *Cordulegaster*.



Fig. 12.- Larva de Trichoptera, Hydropsychidae, *Centromacronema*.

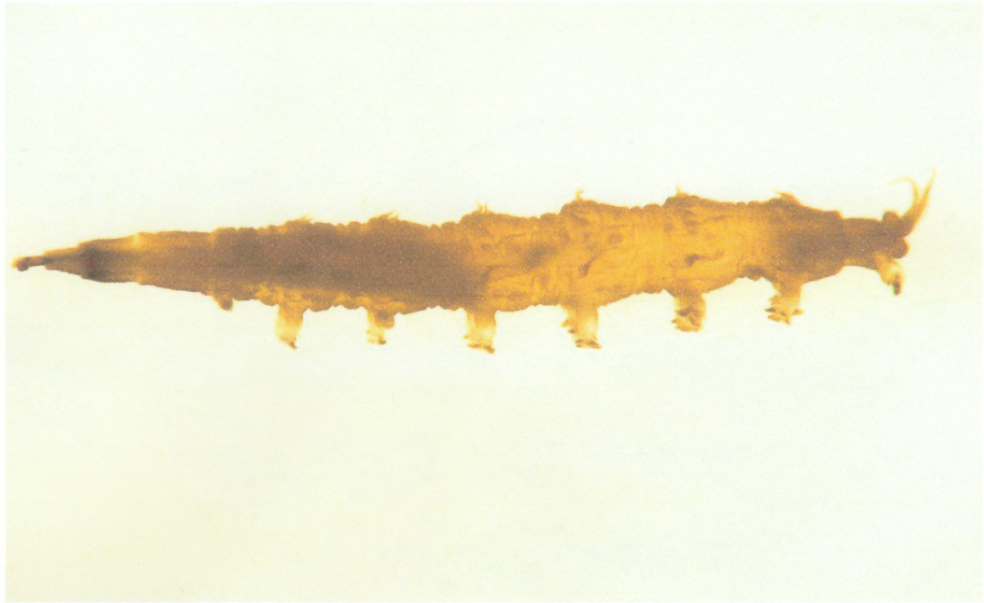


Fig. 13.- Larva de Diptera, Athericidae, *Atherix*.



Fig. 14.- Larva de Trichoptera, Lepidostomatidae, *Lepidostoma*.



Fig. 15.- Larva de Coleoptera, Elmidae, *Hexanchorus*.



Fig. 16.- Larva de Trichoptera, Polycentropodidae, *Polyplectropus*.



Fig. 17.- Ninfa de Ephemeroptera, Leptophlebiidae, *Traverella*.



Fig. 18.- Detalle de la cabeza de una ninfa de *Traverella*.



Fig. 19.- Ninfa de Plecoptera, Perlidae, *Anacroneturia*.



Fig. 20.- Larva de Diptera, Stratiomyidae, *Allognosta*.