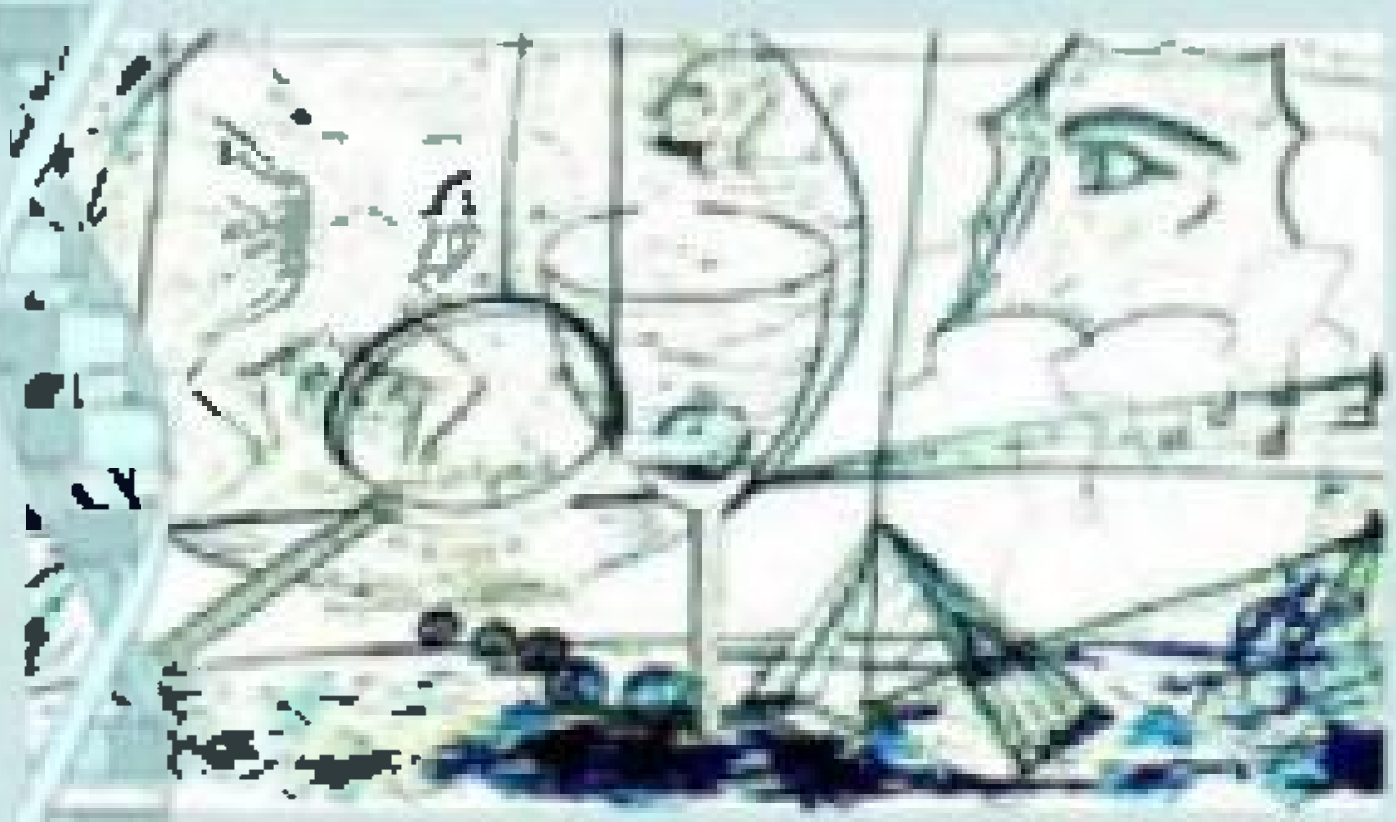
ISSN 1609-8102 (Impreso)
ISSN 2415-0940 (En línea)

TECNOCIENCIA



Revista de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología
Universidad de Panamá

Tecnociencia 2016, Vol. 18, N° 1.

DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHIRIQUÍ VIEJO, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ

[1]Enny E. Santamaría & [2]Juan A. Bernal Vega

[1]Licenciatura en Biología. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad Autónoma de Chiriquí. ennystamaria@gmail.com

[2]Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad Autónoma de Chiriquí. Autor para correspondencia: juanbern@gmail.com

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua de la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, se realizaron dos muestreos al mes, de marzo a julio de 2013, en cuatro estaciones de muestreo. Se recolectaron las muestras utilizando una red triangular para las áreas de corriente y pinzas entomológicas para el muestreo manual. En total se identificaron 6 182 individuos pertenecientes a 110 géneros, 58 familias, 16 órdenes, nueve clases y cinco phyla de macroinvertebrados acuáticos. Se observó una gran diferencia en la calidad de agua, entre las estaciones dentro y fuera del área protegida. En el área protegida hay una mayor diversidad y por ende, mayor calidad de agua.

PALABRAS CLAVES

Macroinvertebrados acuáticos, bioindicador, calidad de agua, índices biológicos, parámetros físicos-químicos, diversidad, bosque de galería.

DIVERSITY OF AQUATICS MACROINVERTEBRATES' AND WATER QUALITY FROM HIGH WATERSHEDS OF CHIRIQUÍ VIEJO RIVER, IN PANAMA

ABSTRACT

With the main objective of determining the diversity of aquatic macroinvertebrates and water quality of the upper watershed of the Chiriqui Viejo River, two samples per month, from March to July 2013 were collected from four sampling stations. Samples were collected using triangular net of areas of watercourse and entomological tweezers for manual sampling. A total of 6,182 individuals belonging to 110 genera, 58 families, 16 orders, in nine classes, five phyla of aquatic macroinvertebrates were identified. The water quality between stations inside and outside the protected area is different. In the protected area there is a greater diversity and therefore higher quality of water.

KEYWORDS

Aquatics macroinvertebrates, bioindicator, water quality, biological index, physicochemical parameters, diversity.

INTRODUCCIÓN

La cuenca No. 102 está localizada en el sector occidental de la provincia de Chiriquí, entre las coordenadas 8°15'9" N y 82°15'83" O. El área de drenaje total de la cuenca es de 1 376 km^2 desde su nacimiento hasta la desembocadura y la longitud del río principal, el Chiriquí Viejo, es de 161 km. Dentro de la cuenca se encuentran tres tipos de climas: el tropical muy húmedo, el tropical húmedo y el tropical muy húmedo de altura. Las zonas de vida predominantes son las de bosque muy húmedo tropical y bosque húmedo tropical (ANAM Autoridad Nacional del Ambiente 2009). La cuenca alta del rio Chiriquí Viejo se encuentra localizada entre los poblados de Buena Vista, Cuesta de Piedra, Hato de Volcán, Nueva California, Bambito, Cerro Punta y Guadalupe. Geomorfológicamente se trata de un área con una topografía elevada e irregular (Rodriguez *et al*., 2009).

El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa. Hoy en 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 (Springer *et al.*, 2010). Se consideran dentro del grupo de los bioindicadores a los macroinvertebrados como los de mayor aceptación, ya que poseen la ventaja de tener un tiempo de vida largo y se observan a simple vista. Las algas, los protozoos y las bacterias le siguen en orden de aceptación a los macroinvertebrados, mientras que los virus, los hongos, las macrófitas y los peces sólo ocupan el 10 % de los organismos acuáticos (Roldán, 1999).

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista, o sea, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud (Roldán, 1988). El prefijo macro indica que esos organismos son retenidos por redes de tamaño entre 200-500 mm (Rosenberg & Resh, 1993) y además, superan en fase adulto o ultimo estado larvario los 2.5 mm (González *et al.*, 1995). Este grupo incluye taxones como: Mollusca, Crustacea, Turbelarios, Oligoquetos, Hirudineos y fundamentalmente insectos entre los cuales se encuentran los coleópteros, hemipteros, efemerópteros, plecópteros, odonatos, dipteros y tricópteros.

Los índices bióticos son ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad biológica de las aguas, en especial de los ríos. Entre ellos, el índice "BMWP" (*Biological Monitoring Working Party*), el cual fue desarrollado inicialmente para Inglaterra y luego adaptado para España (cita). En los últimos años ha sido adaptado en varios países de Latinoamérica como Colombia (cita), Costa Rica (cita) y recientemente para Panamá (cita). Este índice se basa únicamente en la presencia de familias y sus valores de tolerancia asignados, totalmente independiente de la cantidad de géneros o individuos recolectados de cada familia, por lo que es de fácil aplicación (Springer *et al.*, 2010).

Por otra parte el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) (Lenat, 1988) se basa en la premisa de que las fuentes de agua de alta

calidad por lo general tienen la mayor riqueza de especies (Watershed Science Institute s.f.). El SVAP (*Stream Vissual Assessment Protocol*) es un indice utilizado para determinar la salud ambiental del rio, el cual proporciona un nivel básico de evaluación de la salud del arroyo. El mismo brinda información basada principalmente en las condiciones fisicas dentro del área de evaluación, sin detectar problemas que se presenten fuera del lugar que se está evaluando (United States Deparment of Agriculture, 1998). El objetivo de esta investigación fue determinar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua en la cuenca alta del rio Chiriqui Viejo, provincia de Chiriqui, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca alta del rio Chiriqui Viejo, provincia de Chiriqui en cuatro estaciones de muestreo ubicadas en tres tributarios dentro del Parque Internacional La Amistad (PILA) (Quebrada la Mina, Quebrada Dos Océanos, Quebradas Tres Cascadas) y uno en el poblado de Cerro Punta. En el cuadro 1 se detallan las caracteristicas y las coordenadas de las estaciones de muestreo. Entre marzo a julio de 2013, se realizaron 10 giras de campo.

Trabajo de campo y de laboratorio

Muestreo biológico

Para la recolecta de los macroinvertebrados acuáticos se realizaron tres tipos de muestreos en cada sitio de estudio: a) una red tipo D-net con la que se utilizó para realizar barridos tanto en la superficie como en la columna de agua; b) con pinzas entomológicas se tomaron las muestras sobre las piedras y troncos sumergidos; c) colecta manual de hojarasca del fondo y de las orillas, la cual fueron almacenadas y transportada al laboratorio del Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados (MUPADI) de la Universidad Autónoma de Chiriquí. En cada estación de muestreo se realizó un esfuerzo de muestreo de 30 minutos. Las muestras fueron preservadas en alcohol al 70 % con unas gotas de glicerina.

Cuadro 1.- Localización geográfica de las estaciones de muestreo ubicadas en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo.

Ubicación	Qda. La Mina (E1)	Qda. Dos Océanos (E2)	Qda. Tres Cascadas (E3)	Río Chiriquí Viejo. La Garita (E4)
Coordenadas	8°52'20.7" N 82°32'51.3" O	8°52'30.4" N 82°32'57.3" O	8°52'35.2" N 82°33'05.1" O	8°51'51.5" N 82°35'41.0" O
Altitud (m s.n.m.)	2 279±5	2.193±2	2.145±5	1.815±1
Tipo de bosque	Bosque secundario	Bosque secundario	Bosque secundario	Pastizales y áreas de cultivos
Cobertura boscosa (%)	75	85	80	10
Velocidad de la corriente (m/s)	0.50	0.66	0.64	0.84
Ancho del río (m)	4.05	4.10	2.88	15.40
Tipo de sustrato	Grava-gravilla	Grava-gravilla	Grava-gravilla	Grava-gravilla

Los especímenes fueron identificados hasta el nivel de género en la mayoría de los casos utilizando las claves de McCafferty (1981), Roldán (1988), Machado & Rincón (1989), Merritt & Cummins (1996), y Springer *et al.* (2010).

En cada estación en el río se midieron parámetros abióticos como: el ancho (m), profundidad (m), velocidad (m/s), turbidez, erosión, cobertura boscosa, condición del canal, barreras para peces y presencia de refugios para macroinvertebrados. Adicionalmente, se tomaron mediciones *In situ* utilizando un multiparámetro HQ40d para pH, temperatura del agua (°C), oxígeno disuelto (OD) y conductividad, mientras que para fosfatos y nitratos se utilizaron pastillas químicas TesTabs®.

Análisis de los datos

Los datos se agruparon por estaciones, considerando el número de familias dentro de cada orden de insectos recolectados. Se determinó la diversidad de géneros para cada estación, con base en el índice de Shannon-Weaver (Margalef, 1998, Pérez & Sola, 1993a). Para comparar la estructura de la comunidad de insectos acuáticos entre las estaciones se aplicó el índice de Sorenson cuantitativo (Pérez & Sola, 1993b). Para determinar la calidad del agua se utilizaron los índices *Biological Monitoring Working Party*/Panamá (BMWP/Pan) (Cornejo 2010) y el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) (Lenat, 1988) y por último, para determinar la calidad ambiental del río se utilizó el índice ecológico *Stream Visual Assessment Protocol* (SVAP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos

Se recolectaron un total de 6 182 individuos, pertenecientes a 110 géneros, 58 familias, 16 órdenes, nueve clases (Entognatha, Insecta, Malacostraca, Arachnida, Gastropoda, Hirudinea, Oligochaeta, Turbellaria y Gordiida) y cinco phyla (Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes y Nematomorpha). La clase Insecta fue el grupo más abundante con 67.6 % del total de individuos y el más diverso con 99 géneros (32 sin determinar), 48 familias (dos sin determinar) y ocho órdenes (Cuadro 2). Este estudio presentó una mayor diversidad y abundancia en comparación con el estudio realizado por Tapia & Bernal (2014), donde recolectaron un total de 2 232 individuos, agrupados en 50 géneros y 34 familias en cuatro estaciones de muestreo en la parte alta y baja del río Chiriquí Viejo. Según Blinn & Kilgore (2001), el bosque ripario tiene un papel importante al proteger los cuerpos de agua. Ramírez & Pringle (1998) manifiestan que los sitios con algún grado de alteración ecológica tienden a albergar comunidades de macroinvertebrados muy diferentes a las de sitios no perturbados como bosques primarios.

Pino & Bernal (2009) recolectaron 5 535 individuos, agrupados en 91 géneros y 58 familias, en la cuenca alta y media del río David. Guinard *et al.* (2013) recolectaron 4 964 individuos, pertenecientes a 50 géneros y 30 familias, en la cuenca alta y baja del río Gariché.

Cuadro 2. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos recolectados en la parte alta del rio Chiriqui Viejo, marzo a julio de 2013.

Orden	Familia	Género	E1	E2	E3	E4	Total	%
Ephemeroptera	Baetidae	*Baetis*	163	30	240	115	**548**	**8.9**
		Baetodes	11	17	127	12	**167**	**2.7**
		Camelobaetidius	3	2	47	139	**191**	**3.1**
	Leptophlebiidae	*Thraulodes*	93	42	40	0	**175**	**2.8**
		Traverella	3	0	0	0	**3**	**0.0**
	Leptohyphidae	*Leptohyphes*	24	42	50	0	**116**	**1.9**
		Tricorythodes	51	29	26	0	**106**	**1.7**
	Heptageniidae	*Epeorus*	3	0	8	0	**11**	**0.2**
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	39	17	113	0	**169**	**2.7**
Odonata	Calopterigidae	*Hetaerina*	0	0	3	0	**3**	**0.0**
	Coenagrionidae	*Argia*	0	1	0	0	**1**	**0.0**
	Cordulegastridae	*Cordulegaster*	1	2	0	0	**3**	**0.0**
Hemiptera	Gerridae	*Aquarius*	0	0	6	0	**6**	**0.1**
		Brachymetra	1	0	0	0	**1**	**0.0**
		Eurygerris	0	0	1	0	**1**	**0.0**
	Saldidae	*Salda*	1	0	0	0	**1**	**0.0**
		Sin determinar	0	0	6	0	**6**	**0.1**
	Veliidae	*Microvelia*	0	2	0	0	**2**	**0.0**
		Sin determinar	0	1	0	0	**1**	**0.0**
Lepidoptera	Crambidae	*Petrophila*	2	1	0	0	**3**	**0.0**
		Sin determinar	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Cossidae	Sin determinar	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Noctuidae	Sin determinar	0	0	2	1	**3**	**0.0**
Coleoptera	Cantharidae	Sin determinar	0	1	1	0	**2**	**0.0**
	Carabidae	Sin determinar 1	3	0	1	0	**4**	**0.1**
		Sin determinar 2	0	0	1	0	**1**	**0.0**
	Chrysomelidae	Sin determinar	0	0	1	0	**1**	**0.0**
	Curculionidae	Sin determinar	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Dytiscidae	*Laccophilus*	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Elmidae	*Cylloepus*	1	0	0	0	**1**	**0.0**
		Macrelmis	0	1	2	0	**3**	**0.0**
		Macronychus	0	2	0	0	**2**	**0.0**

		Microcylloepus	0	0	2	0	**2**	**0.0**
		Optioservus	0	0	1	0	**1**	**0.0**
		Phanocerus	2	3	1	0	**6**	**0.1**
		Pseudodisersus	0	0	2	0	**2**	**0.0**
	Hydrophilidae	*Berosus*	0	0	1	0	**1**	**0.0**
		Sin determinar	4	2	2	2	**10**	**0.2**
	Psephenidae	*Psephenus*	3	8	7	1	**19**	**0.3**
	Ptilodactylidae	*Anchyteis*	1	0	0	0	**1**	**0.0**
		Ptylodactila	0	1	0	0	**1**	**0.0**
		Tetraglosa	77	22	64	0	**163**	**2.6**
		Sin determinar	0	0	1	0	**1**	**0.0**
	Scirtidae	*Elodes*	3	0	0	0	**3**	**0.0**
		Prionocyphon	0	0	1	0	**1**	**0.0**
		Scirtes	13	5	24	0	**42**	**0.7**
	Staphylinidae	*Bledius*	2	0	0	0	**2**	**0.0**
		Stenus	20	8	21	0	**49**	**0.8**
		Thinopinus	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Sin determinar	**Sin determinar**	0	1	0	0	**1**	**0.0**
Trichoptera	Calamoceratidae	*Phylloicus*	5	45	28	0	**78**	**1.3**
		Sin determinar	3	2	4	0	**9**	**0.1**
	Glossosomatidae	*Culoptila*	1	0	1	54	**56**	**0.9**
		Mortoniella	0	0	0	9	**9**	**0.1**
		Protoptila	0	0	0	1	**1**	**0.0**
		Sin determinar	1	0	0	0	**1**	**0.0**
	Helicopsychidae	*Helicopsyche*	46	0	7	0	**53**	**0.9**
		Sin determinar	24	0	0	0	**24**	**0.4**
	Hydrobiosidae	*Atopsyche*	33	51	38	0	**122**	**2.0**
		Sin determinar	0	2	0	0	**2**	**0.0**
	Hydroptilidae	*Brysopteryx*	0	0	0	1	**1**	**0.0**
		Hydroptila	0	0	0	58	**58**	**0.9**
		c.f. Neotrichia	0	0	0	1	**1**	**0.0**
		Ochrotrichia	0	0	0	2	**2**	**0.0**
		Sin determinar	0	0	0	5	**5**	**0.1**
	Hydropsychidae	*Calosopsyche*	126	23	50	0	**199**	**3.2**
		Leptonema	54	14	36	0	**104**	**1.7**
		Smicridea	6	0	14	0	**20**	**0.3**
		Sin determinar	3	3	13	0	**19**	**0.3**
	Leptoceridae	*Nectopsyche*	0	1	3	0	**4**	**0.1**

	Lepidostomatidae	*Lepidostoma*	71	121	67	5	264	4.3
		Sin determinar	3	0	4	2	9	0.1
	Limnephilidae	Sin determinar	0	1	0	0	1	0.0
	Philopotamidae	*Chimarra*	4	1	2	0	7	0.1
		Sin determinar	1	0	0	0	1	0.0
	Polycentropodidae	*Polycentropus*	37	9	0	0	46	0.7
		Sin determinar	3	0	1	0	4	0.0
Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	1	0	1	0	2	0.0
		Atrichopogon	0	1	0	0	1	0.0
		Stilobezzia	3	1	1	0	5	0.1
	Chironomidae	Sin determinar	223	178	320	141	862	13.9
	Dixidae	*Dixella*	1	2	5	0	8	0.1
	Empididae	*Chelifera*	2	1	0	0	3	0.0
		Hemerodromia	0	1	2	0	3	0.0
		Sin determinar	1	1	0	0	2	0.0
	Ephydridae	Sin determinar	2	0	1	0	3	0.0
	Muscidae	Sin determinar	1	0	0	0	1	0.0
	Psychodidae	*Maruina*	0	0	0	32	32	0.5
		Maruina (Aculcina)	0	0	0	1	1	0.0
		Sin determinar	0	0	0	2	2	0.0
	Simuliidae	*Simulium*	75	80	135	766	1056	17.1
		Sin determinar	5	0	0	7	12	0.2
	Tabanidae	Sin determinar	1	0	0	1	2	0.0
	Tipulidae	*Hexatoma*	1	0	0	0	1	0.0
		Limonia	1	2	1	0	4	0.1
		Molophilus	9	4	8	0	21	0.3
		Tipula	0	7	6	3	16	0.3
		Sin determinar	2	1	1	0	4	0.1
Tricladida	Planariidae	*Dugesia*	66	89	0	72	227	3.7
Amphipoda	Hyalellidae	*Hyalella*	91	354	42	0	487	7.9
Collembola	Entomobryidae	Sin determinar	20	36	15	0	71	1.1
	Smunthuridae	Sin determinar	0	1	3	0	4	0.1
Acarina	Hidrachnidae	Sin determinar 1	3	1	1	27	32	0.5
		Sin determinar 2	0	0	0	1	1	0.0
Pulmonata	Ancylidae	*Ferissia*	0	0	0	1	1	0.0
	Physidae	*Physa*	0	0	0	327	327	5.3
	Planorbidae	*Helisoma*	0	0	0	3	3	0.0

Haplotaxida	Tubificidae	Sin determinar	0	1	1	41	**43**	**0.7**
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Sin determinar	1	0	1	0	**2**	**0.0**
Gordioidea	Chordodidae	*Neochordodes*	0	0	0	2	**2**	**0.0**
Total	**58**	**110**	**1 459**	**1 274**	**1 614**	**1 835**	**6 182**	**100.0**

La estación de muestreo con mayor abundancia de macroinvertebrados acuáticos fue La Garita (E4) con 1.835 individuos (29.7 %), seguido se encuentran las estaciones Tres Cascadas (E3) con 1.614 (26.1 %) individuos, La Mina (E1) con 1.459 individuos (23.6 %) y por último Dos Océanos (E2) con 1.274 individuos (20.6 %). Como se puede observar, la abundancia fue mayor en la parte del río en donde se presentan los asentamientos humanos, específicamente en la Garita (E4). Esto podría ser consecuencia de la vegetación riparia y la cobertura boscosa, debido a que dichas zonas presentaban deforestación provocando mayores aberturas de la vegetación que permitieron un aumento de pastizales y mayores entradas del sol, lo cual podría conllevar a un alto crecimiento del perifiton, que sirve como alimento para los macroinvertebrados acuáticos. Las altas temperaturas del agua favorecen la actividad microbiana para el crecimiento del perifiton, lo cual contribuye a la rápida descomposición de los materiales trayendo como consecuencia mayores abundancias de individuos (Sánchez-Argüello *et al.*, 2010).

El orden con mayor abundancia durante todo el estudio fue Diptera con un total de 2 041 individuos (33.0 %) representados en 11 familias y 21 géneros (ocho sin determinar). Seguido por los órdenes Ephemeroptera con 1 317 individuos (21.3 %), Trichoptera con 1 100 individuos (17.8 %), Amphipoda con 487 individuos (7.9 %), Pulmonata con 331 individuos (5.4 %) y Coleoptera con 322 individuos (5.2 %). Con menos del 5.0 % de individuos recolectados se reportaron los órdenes Tricladida, Plecoptera, Collembola, Haplotaxida, Acarina, Hemiptera, Lepidoptera, Odonata, Glossiphoniiformes y Gordioidea (Fig. 1). Resultados similares fueron documentados por Tapia & Bernal (2014) en el río Chiriquí Viejo (1 431 individuos o 64.4 %) y Aguirre & Bernal (2014), en el río Caldera (1 490 individuos o 25 %), respectivamente.

Diptera es uno de los órdenes más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad, en el que algunas familias como Chironomidae y

Tipulidae están adaptadas a vivir en zonas con fuertes corrientes y elevadas concentraciones de oxígeno, mientras que otras son familias oportunistas, como la Psychodidae, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de la misma (Ladrera, 2012).

La familia con mayor abundancia durante todo el estudio fue Simuliidae con 1 068 individuos (17.3 %) y dos géneros (*Simulium* y uno sin determinar), seguido encontramos la familia Baetidae con 906 individuos (14.7 %) y tres géneros (*Baetis*, *Baetodes* y *Camelobaetidius*) y la familia Chironomidae con 862 individuos (13.9 %) correspondientes a un género sin determinar (Cuadro 2).

El género con mayor abundancia y distribución espacial (en las cuatro estaciones) a lo largo del estudio fue *Simulium* con un total de 1 056 individuos (17.1 %), seguido del género sin determinar de la familia Chironomidae con 862 individuos (13.9 %) y el género *Baetis* con 548 individuos (8.9 %) (Cuadro 2). Según Paggi (1999), *Chironomus*, el género más común de la familia Chironomidae, es uno de los géneros que toleran mayor grado de contaminación orgánica en diferentes latitudes.

El orden con mayor abundancia de familias durante todo el estudio realizado en las cuatro estaciones fue el orden Coleoptera con un total de 12 familias (una sin determinar) y 27 géneros (ocho sin determinar). Le siguieron los órdenes Trichoptera con 11 familias y 28 géneros (10 sin determinar) y Diptera con 11 familias y 22 géneros (nueve sin determinar) (Cuadro 2). Pino & Bernal (2009) registraron para el rio David que el orden Coleoptera obtuvo la mayor diversidad de familias con 11 (una sin determinar) y 33 géneros (tres sin determinar) seguido del orden Trichoptera con nueve familias y 13 géneros (uno sin determinar).

La familia con mayor diversidad genérica fue Elmidae (Coleoptera) con un total de siete géneros, seguida por las familias Hydroptilidae y Tipulidae cada una con cinco géneros y las familias Ptilodactylidae,

Glossosomatidae e Hydropsychidae con cuatro géneros cada una (Cuadro 2). El estudio realizado en el rio Caldera por Aguirre & Bernal (2014), documentaron la familia Elmidae como la más diversa con 10 géneros. La familia Elmidae incluye coleópteros de distribución mundial. Son habitantes comunes en ambientes lóticos, con elevada velocidad de corriente y buena disponibilidad de oxigeno, donde son importantes constituyentes de la comunidad bentónica. A nivel mundial se reconocen 1 330 especies en 149 géneros (Manzo, 2013).

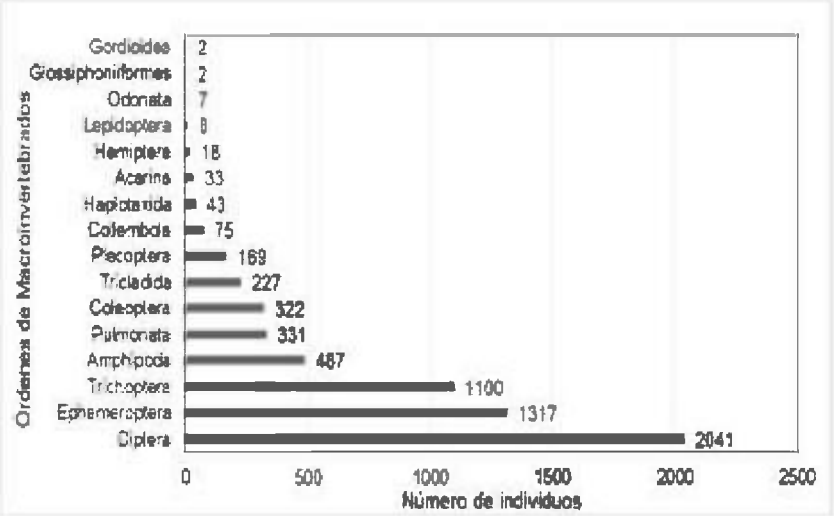


Fig. 1. Abundancia de individuos por órdenes de macroinvertebrados acuáticos recolectados en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, marzo a julio de 2013.

Índice de diversidad Shannon-Weaver (H´)

En general, para todo el estudio realizado en la parte alta del río Chiriquí Viejo la diversidad total de Shannon-Weaver para los macroinvertebrados acuáticos fue alta (H=3.11, considerando que los valores H>2.70 representan diversidad alta y H entre valores de 1.50 y 2.70 representan diversidad media). El índice de Shannon-Weaver, calculado por estación, mostró alta diversidad para las estaciones E1 y E3, mientras que para las estaciones E2 y E4 la diversidad fue media.

Esta diferencia en los índices de diversidad probablemente se deba a que el bosque ripario o bosque de galería se encuentre en mejor estado de conservación en las estaciones E1 y E3 con respecto a las estaciones E2 y E4. Según Blinn & Kilgore (2001), el bosque ripario tiene un

papel importante al retardar y reducir la escorrentía superficial, utilizar el exceso de nutrientes, atrapar los sedimentos y los contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos, y de esta manera proteger los cuerpos de agua. Alonso (2006) menciona que la ausencia de vegetación riparia empobrece la composición de macroinvertebrados bentónicos.

Índice de Similitud (Sorenson cuantitativo)

Según el índice de Sorenson cuantitativo, la mayor similitud (65 %) en la estructura de macroinvertebrados acuáticos de la parte alta del río Chiriquí Viejo se encontró entre las estaciones E1 y E3, mientras que la menor similitud (22 %) la presentaron las estaciones E2 y E4 (Cuadro 3).

Las estaciones más cercanas entre sí, presentaron índices de similitud más altos, mientras que como se observa en la estación E4, ubicada más distante de las estaciones E1, E2 y E3, fue la que presentó los índices de similitud más bajos. Esto puede deberse a que las estaciones E1, E2 y E3 se encontraban relativamente cercanas entre sí, por lo tanto, sus características eran similares, por lo que el tipo de macroinvertebrados que se encontraban en la estación E1 podían encontrarse en las estaciones E2 y E3 y viceversa. Mientras que la estación E4 al encontrarse apartada del resto de las estaciones, posee características diferentes, y por lo tanto, estuvo habitada por macroinvertebrados diferentes (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Índice de Sorenson cuantitativo para la cuenca alta del río Chiriquí Viejo, marzo a julio de 2013.

Estaciones	Especies comunes	Índice Sorenson cuantitativo (%)
E1-E4	14	26
E1-E3	41	65
E1-E2	36	59
E2-E4	12	22
E2-E3	38	51
E3-E4	14	27

Calidad de agua: BMWP/Pan y EPT

BMWP/Pan

Para determinar la calidad de agua se utilizaron dos índices: el BMWP/Pan y EPT. Los valores del índice BMWP/Pan obtenidos para este estudio en la parte alta del río Chiriquí Viejo fueron 195, 170, 184 y 81 para las estaciones E1, E2, E3 y E4, respectivamente (Cuadro 4). Esto indica que las aguas en las estaciones E1, E2 y E3 son de calidad limpia, mientras que, para la estación E4 la calidad del agua es ligeramente contaminada. Las estaciones E1, E2 y E3 se encuentran localizadas dentro de un área protegida, el Parque Nacional Volcán Barú, el cual a su vez se encuentra dentro del Parque Internacional La Amistad. Esto hace que estas estaciones estén ubicadas en senderos que se encuentran protegidos, no se realizan vertidos de ningún tipo de desechos en estos cuerpos de agua, ni hay contaminación humana, ni de ningún tipo que pueda ocasionar un deterioro en la calidad de agua. Mientras que la estación E4 se encuentra localizada en una parte del poblado de Cerro Punta, comunidad que está muy impactada por las actividades agrícolas. Aquí se realizan vertidos de desechos, pesticidas, fungicidas y fertilizantes en el agua, lo cual se puede observar que ha influido de manera considerable en la calidad del agua de este sitio. Ramírez & Pringle (1998) manifiestan que los sitios con algún grado de alteración ecológica tienden a albergar comunidades de macroinvertebrados muy diferentes a las de sitios no perturbados como bosques primarios. Esto se reflejó en la composición taxonómica del presente estudio, dado que los taxones presentes en las estaciones localizadas dentro del Parque Internacional La Amistad fueron diferentes a los de la estación localizada fuera del mismo.

EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)

El resultado del índice EPT para las estaciones E1 (55 %) y E3 (57 %) indicó una buena calidad de agua. Para la estación E2 (36 %) indicó una calidad de agua regular y para la estación E4 (22 %) indicó una mala calidad de agua (Cuadro 4). En la estación E1 se recolectaron ocho géneros del orden Ephemeroptera, un género del orden Plecoptera y 18 géneros del orden Trichoptera. En la estación E3 se recolectaron siete géneros del orden Ephemeroptera, un género del orden Plecoptera y 18 géneros del orden Trichoptera. En la estación E2

Cuadro 4.- Índices BMWP/Pan y EPT para calidad de agua e índice SVAP para calidad ambiental de la parte alta del río Chiriquí Viejo, 2013.

Estación	*BMWP/Pan	**EPT	***SVAP
E1	195	55	9.4
E2	170	36	8.9
E3	184	57	8.2
E4	81	22	6.0

*BMWP/Pan: 101-120, >120= excelente, 61-100= aceptable, 36-60= regular, 16-35= mala, <15= pésima.
**EPT (%): 75-100= muy buena, 50-74= buena, 25-49= regular, 0-24= mala
***SVAP: 9.6-10: excelente, 7.7-8.5: bueno, 6.0-7.0: regular, 3.1-5.3: pobre, 1.0-2-0: muy pobre.

se recolectaron seis géneros del orden Ephemeroptera, un género del orden Plecoptera y 12 géneros del orden Trichoptera. En la estación E4 se recolectaron tres géneros del orden Ephemeroptera y 10 géneros del orden Trichoptera, el orden Plecoptera no tuvo ningún representante (Cuadro 2).

La calificación alta del índice BMWP/Pan para las estaciones E1, E2 y E3, probablemente se deba a que tal índice de calidad de agua se calcula por la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados acuáticos, lo que puede producir una imprecisión en las calificaciones. A diferencia, el índice EPT calcula la calidad del agua con base en la riqueza de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, lo que hace que este índice sea útil en la detección de perturbaciones más sutiles. Sin embargo, en Panamá hay controversias en el uso de estos índices bióticos.

Índice de calidad ambiental (SVAP)

La estación E1 presentó un índice SVAP de 9.4 lo cual indicó que es un hábitat con condiciones entre buenas a excelentes es decir una quebrada sana que casi no ha sido intervenida por el hombre y que cuenta con un bosque de galería sano. La estación E2 presentó un índice SVAP de 8.9, lo cual la sitúa en la misma posición que la estación E1: un hábitat con condiciones entre buenas a excelentes. La

estación E3 presentó un índice SVAP de 8.2, es decir, es un hábitat en buenas condiciones, pero que quizás tenga un poco de daño causado por la erosión y otros factores, el cual es fácilmente recuperable. La estación E4 fue el hábitat más perturbado, con un índice SVAP de 6.0, que representa un hábitat en condiciones regulares, donde se notan los daños causados por el hombre, pero aun así, es manejable la recuperación, hay mayor cantidad de sedimento y las orillas presentan menos cantidad de árboles y mayores signos de erosión. En general, la cuenca alta del río Chiriquí Viejo está en buenas condiciones ambientales, presentando un índice SVAP promedio de 8.1 (Asociación ANAI, 2006).

CONCLUSIONES

En la parte alta del río Chiriquí Viejo se encontró una alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos, agrupados en 110 géneros, 58 familias, 16 órdenes y nueve clases, siendo la clase Insecta la más abundante. La similitud de especies de macroinvertebrados acuáticos osciló entre 26 y 65 % en las estaciones estudiadas. Con el BMWP/Pan se encontraron aguas de muy limpias (E1, E2 y E3) a aguas ligeramente contaminadas (E4), y con el índice SVAP, aguas con condiciones de buenas a excelentes (E1, E2 y E3) y condiciones regulares (E4).

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Ecology Project International, especialmente a Adriane Cromer directora de EPI para Panamá y al personal del Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados (MUPADI) en la Universidad Autónoma de Chiriquí.

REFERENCIAS

Aguirre, Y. & J.A. Bernal Vega. 2014. Distribución y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta media y baja del río Caldera, Chiriquí, Panamá. Scientia 24(2): 37-55.

Alba-Tercedor, J. & A. Sánchez. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética* 4: 51-56.

Alonso, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Ecosistemas 15(2): 1-5.

Asociación ANAI. 2006. Biomonitoreo de ríos en las cuencas Estrella, Sixaola y cuencas costeras en el caribe sur de Costa Rica/Panamá. Informe Preliminar 2001-2006. Consultado el 13 de abril de 2014. Disponible en: http://www.anaicr.org/wp-content/uploads/2014/02/informe-anual-2006.pdf

Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá (ANAM). 2009. Tercer Informe de monitoreo de la calidad del agua, Años 2006- 2007. 349 p. Consultado el 13 de abril de 2013. Disponible en: http://v1.panamacompra.gob.pa/documentosconvertidos/2009-1-08-0-08-LP-008343-AN-01.Pdf

Blinn, R. & A. Kilgore. 2001. Riparian Management Practices. J. of Forest. 8: 11-17.

Cornejo R., A. 2010. Macroinvertebrados acuáticos bioindicadores de la calidad del agua en Panamá: Propuesta de Índice BMWP/PAN. Reunión especial: Macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO), 15-19 de junio, 2010, Villahermosa, Tabasco, México.

González, S., Y. Ramírez, A. Meza & L. Dias. 1995. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del Municipio de Manizales. bol.cient.mus.hist.nat. 16(2): 135-148.

Guinard, J., T. Ríos, & J.A. Bernal Vega. 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del rio Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. Revista Gestión y Ambiente 16(2): 61-70.

Ladrera, R. 2012. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Páginas de información ambiental 39: 24-29.

Lenat, D. 1988. Water quality assessment using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. J.N. Am. Benthol. Soc. 7: 222-223.

Machado, T. & J. Rincón. 1989. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biología, Medellín. 228 p.

Manzo, V. 2013. Los élmidos de la region Neotropical (Coleoptera: Byrrhoidea: Elmidae): diversidad y distribución. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 72(3-4): 199-212.

Margalef, R. 1998. Ecología. Editorial Omega. 968 p.

McCafferty, W. 1981. Aquatic Entomology. Nort America. Jones and Bartlett Publishers. 448 p.

Merritt, R. & K. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic insects of North America. (Tercera edición). Estados Unidos. Kendall/ Hunt Publishing Company. 862 p.

Paggi, A. 1999. Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58 (1-2): 202-207.

Pérez-López, F.J. & F.M. Sola-Fernández. 1993a. DIVERS. Programa para el cálculo de los índices de similitud. [Programa informático en línea]. Consultado el 25 de mayo de 2013. Disponible en: http://perso.wanadoo.es/jp-l/descargas.htm.

Pérez-López, F.J. & F.M. Sola-Fernández. 1993b. SIMIL. Programa para el cálculo de los índices de similitud. [Programa informático en

línea]. Consultado el 25 de mayo de 2013. Disponible en: http://perso.wanadoo.es/jp-l/descargas.htm.

Pino, R. & J. Bernal. 2009. Diversidad, distribución de la comunidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la parte alta y media del rio David, provincia de Chiriquí, República de Panamá. Gestión y Ambiente 12(3): pp. 73-84.

Ramirez, A. & C. Pringle.1998. Use of both and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrate communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. Freshwater Biol. 39: 359-373.

Rodríguez, P., M. Silva, O. Saldaña, M. Lacayo, E. Luna, J. Navas, S. Hernández, H. Silva, J. Robleto & S. Treminio. 2009. Apoyo al desarrollo de iniciativas de generación energética con fuentes renovables. 96 p. Consultado el 18 de julio de 2013. Disponible en: https://cdm.unfccc.int/filestorage/1/U/P/1UPSLLHXTP182DLQDCSIEBMBGND1YX/Comment%20submitted%20by%20Asociacion%20Ambientalista%20de%20Chiriqui%20ASAMCHI.pdf?t=Y3l8bXJreWN0fDCcTYqaTcFJkhpATc2D9gAL

Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN- Bogotá. Colombia. 217 p.

Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. 13 p. Consultado el 3 de julio de 2013. Disponible en:
http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 170 p.

Rosenberg, D. & V. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York London. Chapman and Hall. pp.488p.

Sánchez-Argüello, R., Cornejo, A., Pearson, R. & I. Boyero. 2010. Spatial and temporal variation of stream communities in a human-affected tropical watershed. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 46 (2010) 149–156.

Springer, M., A. Ramirez & P. Hanson. 2010. Macroinvertebrados de Agua dulce de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 58 (Suppl. 4) 240 p.

Tapia. M. & J. A. Bernal Vega. 2013. Diversidad y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua del rio Chiriqui Viejo, Chiriqui, Panamá. Scientia 24(2): 93-106.

United States Deparment of Agriculture. 1998. National Water and Climate Center. Technical Note 99-1. Stream Vissual Assessment Protocol. Estados Unidos. 42 p. Watershed Science Institute. s.f. Stream Visual Assessment Protocol. National Water and Climate Center Technical Note 99-1. Consultado el 4 de abril de 2014. Disponible en: ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/strmRest/wshedCondition/EPTIndex.pdf.

Recibido junio de 2015, aceptado febrero de 2016.

Tecnociencia 2016, Vol. 18, N° 1.

COMPARACIÓN DE LA ANATOMÍA FOLIAR DE CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *CRYPTOCHLOA* SWALLEN (POACEAE: BAMBUSOIDEAE: OLYREAE)

[1]Nelson Jaén, [1]Cristina Garibaldi, [1]María Stapf, & [2]Ricardo María Baldini

[1]Universidad de Panamá, Departamento de Botánica. Panamá, República de Panamá.
[2]Universidad de Florencia, Departamento de Biología. CSET (Centro Studi Erbario Tropicale). Florencia, Italia.

RESUMEN

El género *Cryptochloa* consta de nueve especies distribuidas desde América Central, hasta el noroeste de América del Sur. Este género se caracteriza por presentar muchos nudos hacia la parte superior de los culmos y hojas planas. En Panamá, se han reportado ocho especies, de las cuales cuatro son endémicas. El objetivo de este trabajo es comparar la anatomía interna y la epidermis foliar, de cuatro especies del género: *C. concinna, C. decumbens, C. dressleri* y *C. variana*. Para ello, se recolectaron hojas frescas de cinco individuos por especie: en Cerro Jefe, Parque Nacional Chagres (provincia de Panamá), Parque Nacional Altos de Campana (provincia de Panamá) y Santa Rita Arriba (provincia de Colón). Se prepararon placas fijas de cortes transversales de la parte media de la hoja y se documentó la anatomía interna mediante micrografías. Además, se obtuvieron imágenes de la epidermis empleando microscopio electrónico de barrido. Con los caracteres observados se elaboró una matriz y utilizando el programa de análisis multivariado (MVSP), y se aplicó el análisis de grupo ponderado emparejado con media aritmética (UPGMA). Este análisis permitió agrupar *C. concinna* con *C. dressleri* y *C. decumbens* con *C. variana*.

PALABRAS CLAVES

Bambúes, *Cryptochloa*, anatomía.

LEAF COMPARATIVE ANATOMY OF FOUR SPECIES OF THE GENUS *CRYPTOCHLOA* SWALLEN (POACEAE: BAMBUSOIDEAE: OLYREAE)

ABSTRACT

The genus *Cryptochloa* consists of nine species distributed from northern Central America to northwest South America. It is characterized by flat leaves and many nodes in the upper part of the culm. Eight species are reported in Panama, four of which are endemic. The objective of this study is to compare the leaf internal anatomy and epidermis of four species from this genus: *C. concinna, C. decumbens, C. dressleri* and *C. variana*. Fresh leaves were collected from five individuals of each species in Cerro Jefe in Chagres National Park (Panama Province), Altos de Campana National Park (Panama Province), and Santa Rita Arriba (Colón Province). Transverse cuts from the middle of each leaf were fixed and mounted in permanent microscope slides; micrographs of these slides were used to document leaf internal structure. The structure of the epidermis of each leaf was documented using a scanning electron microscope. The observed characteristics were recorded in a matrix, transformed using Multivariate Statistical Package, and analyzed using Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean. This resulted in grouping *C. concinna* with *C. dressleri* and *C. decumbens* with *C. variana*.

KEYWORDS

Bamboos, *Cryptochloa*, Anatomy.

INTRODUCCIÓN

La subfamilia Bambusoideae (GPWG, 2001; Sánchez-Ken *et al.*, 2007), es una de las trece subfamilias dentro de la familia Poaceae, está ampliamente distribuida y constituye un grupo natural dentro de las Poaceae (Oliveira *et al.*, 2008b). En la actualidad esta subfamilia incluye dos tribus, Bambuseae y Olyreae, la primera incluye los bambúes habitualmente conocidos como leñosos y la segunda, las formas herbáceas (GPWG, 2001; Sánchez-Ken *et al.*, 2007).

La subfamilia Bambusoideae se caracteriza por presentar hojas pseudopecioladas, tres lodículas por flores e inflorescencias con brácteas que generalmente, producen pseudoespigas (McClure, 1966; McClure, 1973; Calderón & Soderstrom, 1980; Soderstrom, 1981*a*; Soderstrom & Ellis, 1987; Clark *et al.*, 1995).

El género *Cryptochloa*, de la tribu Olyreae, comprende hierbas cespitosas, perennes, monoicas. Los tallos presentan muchos nudos simples, monomorfos o dimorfos; pseudopeciolos cortos, ligulas membranáceas, asimétricas, adnadas a la auricula de la vaina; láminas aplanadas, oblongas a ovadas, asimétricas y basalmente redondeadas. Las inflorescencias racemiformes, las terminales generalmente estaminadas; a veces bisexuales, las axilares usualmente bisexuales, raramente pistiladas (Davidse, 1994).

El género contiene nueve especies en América Tropical (Davidse, 1994), distribuidas desde América Central hasta el Norte de América del Sur y la zona Atlántica en Brasil (Judziewicz *et al.*, 1999). Correa *et al.* (2004) menciona la presencia de seis especies en Panamá, pero en la revisión realizada por Baldini & Ortiz (2014), sugieren que las especies en Panamá son siete, de las cuales tres son endémicas. Las especies reconocidas para Panamá son: *Cryptochloa concinna* (Hook. f.) Sw., *C. decumbens* Soderstr. & Zuloaga, *C. dressleri* Soderstr., *C. soderstromii* Davidse, *C. strictiflora* (E. Foum) Sw., *C. unispiculata* Soderstr. y *C. variana* Sw. Y *Cryptochloa stapfii* Baldini & Ortiz (Baldini & Ortiz, 2015).

El valor taxonómico de las caracteristicas epidérmicas de las hojas en plantas herbáceas, ha sido bien establecido para la identificación y clasificación de los miembros a nivel de familias (Prat, 1932; Prat, 1936; Tateoka *et al.*, 1959; Metcalfe, 1960; Jacques-Félix, 1962). Es importante destacar que la estructura anatómica de las hojas en las monocotiledóneas depende en gran medida del tipo de mecanismo fotosintético que esta presenta como, el tipo C3 o C4 y de las condiciones ambientales en las que crece la planta como: ambientes xerofiticos, mesofiticos o hidrofiticos (Cutler *et al.*, 2007).

La anatomia foliar de Bambusoideae, se caracteriza por presentar células fusoides largas, haz vascular cerrado por dos capas de células, una interior denominada metostoma (Brown, 1958) y una exterior de parénquima y presencia de células con invaginaciones (arm cells), donde ocurre la fotosintesis, mesófilo no radiado.

La epidermis presenta varios tipos de células: células de silice, células buliformes y estomas complejos; micro y macro pelos, espinas y

papilas (Judziewicz *et al.*, 1999); y los tricomas del tipo *Panicum* están formados por dos células (GPWG, 2001; Jesus Junior *et al.*, 2012).

La finalidad de este trabajo es: identificar diferencias y similitudes en las estructuras anatómicas de. *C. concinna* (Hook F.) Sw, *C. decumbens* Soderstr. & Zuloaga, *C. dressleri* Soderstr., y *C. variana* Sw. Además, describir la anatomía interna y de la epidermis foliar de las cuatro especies.

MATERIALES Y METODOS

Para describir la anatomía foliar de *Cryptochloa* se recolectaron las hojas de cinco individuos procedentes de nueve poblaciones, en tres sitios de la República de Panamá: Tres poblaciones de *Cryptochloa concinna* (Jaén, N. 72) y una de *Cryptochloa decumbens* (Jaén, N. 74) en Cerro Jefe (Panamá); una población de *Cryptochloa concinna* (Jaén, N. 76), una de *Cryptochloa dressleri* (Jaén, N. 75) en Santa Rita (Colón) y tres poblaciones de *Cryptochloa variana* (Jaén, N. 78) en Cerro Campana (Panamá). Los especímenes de referencia fueron depositados en el Herbario de la Universidad de Panamá (PMA), el Herbario Summit Canal Zone (SCZ) y el Herbario Tropical de Florencia (FT). Los individuos recolectados fueron llevados al laboratorio, donde se midieron las características morfométricas y luego se seleccionaron cinco hojas maduras de cada individuo, que fueron cortadas desde la base de la lámina y colocadas en frascos que contenían fijador FAA al 50% (Formalina-Ácido Acético-Alcohol); algunas se fijaron en formalina al 4%.

El procesamiento del material consistió en una serie de deshidrataciones en diferentes concentraciones de alcohol etílico y butílico. Las muestras fijadas en FAA, se iniciaban con dos cambios en alcohol etílico al 50% y se continuaba con butanol al 60%, 70%, 80%, 90% y tres cambios al 100%. Cada paso de aproximadamente media hora. Las muestras fijadas en formalina al 4%, se deshidrataron en una serie de alcohol etílico al 10%, 20%, 30%, 40%, cada cambio de media hora, seguida de una serie de butanol al 60%, 70%, 80%, 90% y tres cambios al 100%, aproximadamente media hora en cada concentración. Para evitar el deterioro del material durante la infiltración en parafina, estas fueron colocadas en aceite mineral

durante una hora. La infiltración consistía en tres cambios de parafina fundida, de tres horas cada una.

Se obtuvieron cortes de la parte media de la lámina de un grosor aproximado de 10-12 µm, empleando un micrótomo manual giratorio (Ellis, 1976). Los cortes se fijaron en porta objetos con una solución de gelatina comercial sin sabor 50 g en 200 ml de agua, y secados en un horno a 40°C, durante 24 h. La tinción de los cortes se efectuó mediante la combinación safranina verde fijo y montado en bálsamo de Canadá. Las observaciones de los cortes en secciones transversales se efectuaron usando un microscopio óptico Olympus Bx 41 y registradas mediante micrografías digitales, utilizando el programa Biopro.

Las micrografías de la epidermis adaxial y abaxial de la hoja se obtuvieron utilizando un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca ZEISS EVO.40 VP. y un microscopio de fluorescencia (confocal), marca Olympus Fluoview FV 1000. La descripción de la anatomía interna y superficial de la hoja se realizó de acuerdo a Ellis (1976; 1979).

Los grupos obtenidos a partir de datos mixtos de las secciones transversales, superficie abaxial y adaxial de las hojas, fueron utilizados para expresar las mejores agrupaciones naturales. Este conjunto de datos se analizó en base al coeficiente de similitud de Gower (Friedman & Meulman, 2004). Para crear el fenograma se utilizó el programa estadístico de análisis multivariado (MVSP), y para agrupar las especies estudiadas en base a similitudes anatómicas de la hoja, se utilizó el grupo ponderado pareado con media aritmética (UPGMA) (Sneath & Sokal, 1973).

RESULTADOS

En *Cryptochloa*, la lámina de la hoja es delgada, con márgenes rectos y grosor variable, siendo en la vena media y las venas secundarias los lugares donde presenta mayor grosor, mientras que en las zonas intercostales (entre venas) es más delgada. En el cuadro 1 se presenta los datos morfológicos de los individuos seleccionados, para este estudio.

Cuadro 1. Caracteristicas morfológicas de *Cryptochloa*.

	C. concinna	*C. decumbens*	*C. dressleri*	*C. variana*
Tamaño (cm)	6-34,5 (15,6)	9-28 (18,18)	8-30 (16,8)	6,1-28,3 (15,8)
Número de culmos	4-17	7-27	5-7	4-32
Número de hojas por culmo	2-16 (8)	3-15 (9)	1-7 (5)	1-15 (5)
Forma de la hoja	Oblongo-lanceolada	Oblonga a oblongo-lanceolada	Linear-lanceolada	Lanceolada a oblonga
Largo de la hoja (cm)	1,6-5,1 (3,06)	1,8-2,5 (2,2)	6-10,1 (8,4)	2,2-4,5 (3,6)
Ancho de la hoja (cm)	0,6-1,3 (0,92)	0,6-1,00 (0,83)	1-1,8 (1,3)	0,6-1,5 (1,1)

Anatomía

Cryptochloa concinna. Mesófilo: haz central (incluye la vena media) y haces de primer orden con dos vainas, una exterior de parénquima y una interior de esclerénquima y los haces de segundo orden presentan sólo una vaina de parénquima. Las fibras del esclerénquima proyectadas hacia ambas epidermis; en la superficie abaxial, interrumpen la vaina de parénquima en el haz central y en los haces de primer orden. Haz central con dos haces adyacentes, de segundo orden. En los haces de segundo orden, la vaina de parénquima es continua. Presenta células fusoides bien desarrolladas, separadas de las células adyacentes por una célula de parénquima; células invaginadas adaxiales con (una) dos-tres invaginaciones profundas y células invaginadas abaxiales con dos-tres invaginaciones profundas (Fig. 1).

Epidermis de la superficie adaxial, generalmente lisa, las células epidérmicas sin papilas, con espinas principalmente en la zona intercostal a los lados de las venas, alternas con microtricomas bicelulares; células cortas con cuerpos de sílice crenados y células largas; en algunos individuos recolectados en Santa Rita (Colón), se observaron macrotricomas dispersos. La superficie abaxial, presenta papilas distribuidas en toda la superficie, células cortas con cuerpos de sílice crenados y células largas en la zona intercostal, en la zona costal

las células con cuerpos de sílice en cruz; presencia de microtricomas en la zonas intercostales de las láminas; los estomas están dispuestos en la zona intercostal en una o dos líneas (Fig. 2.3).

Cryptochloa decumbens. Mesófilo: haz central y haces de primer orden con dos vainas, una exterior de parénquima y una interior del esclerénquima; las fibras de esclerénquima están proyectadas hacia ambas epidermis, pero en la superficie abaxial interrumpe la vaina de parénquima. En los haces de segundo orden, la vaina de parénquima es continua. Presenta células fusoides bien desarrolladas, separadas de las células adyacentes por una célula de parénquima; células invaginadas adaxiales con dos-tres invaginaciones profundas y células invaginadas abaxiales con dos-tres invaginaciones poco profundas (Fig. 1).

Epidermis de la superficie adaxial presenta papilas distribuidas en toda la superficie de la lámina, en la zona costal y la zona intercostal, macrotricomas unicelulares distribuidos en toda la superficie; microtricomas bicelulares; epidermis compuesta por células largas sin cuerpos de sílice y células cortas con cuerpos de sílice crenados. La superficie abaxial presenta abundantes papilas distribuidas en toda la superficie, células cortas con cuerpos de sílice y células largas en la zona intercostal; en la zona costal presenta células con cuerpos de sílice en cruz; microtricomas, y macrotricomas distribuidos tanto en la zona intercostal como en la zona costal de la lámina; los estomas están dispuestos generalmente en una línea en la zona intercostal (Fig. 2.3).

Cryptochloa dressleri. Mesófilo: haz central y haces de primer orden con dos vainas, una exterior de parénquima y una interior de esclerénquima. Las fibras del esclerénquima están proyectadas hacia ambas epidermis, pero en la superficie abaxial está interrumpiendo la vaina de parénquima. Haz central con dos haces de segundo orden adyacente. En los haces de segundo orden, la vaina de parénquima es continua. Presenta células fusoides bien desarrolladas, separadas de las células adyacentes por una célula de parénquima; células invaginadas adaxiales con una invaginación profunda y células invaginadas abaxiales con dos-tres invaginaciones poco profundas (Fig. 1).

Epidermis de la superficie adaxial lisa, células largas sin cuerpos de sílice y células cortas con grandes cuerpos de sílice crenados;

microtricomas bicelulares en la zona intercostal, al lado de las nervaduras, estomas presentes. Superficie abaxial con papilas distribuidas en toda la superficie de la lámina en las zonas costales y las zonas intercostales, células largas sin cuerpos de silice y células cortas con cuerpos de silice grandes, células con cuerpos de sílice en cruz presentes en las zonas costales; espinas en la zona intercostal y de microtricomas bicelulares; estomas distribuidos en una ó dos lineas en la zona intercostal (Fig. 2.3).

Cryptochloa variana. Mesófilo: haz central y haces de primer orden con dos vainas, una exterior de parénquima y una interior de esclerénquima; las fibras de esclerénquima están proyectadas hacia ambas epidermis, pero en la superficie abaxial interrumpe la vaina de parénquima. Haz central con dos haces de segundo orden adyacente. En los haces de segundo orden la vaina de parénquima es continua. Células fusoides bien desarrolladas, separadas de las células adyacentes por una célula de parénquima; células invaginadas adaxiales con (una) dos-tres invaginaciones profundas y células invaginadas abaxiales con dos-tres invaginaciones profundas (Fig. 1).

Epidermis de la superficie adaxial lisa con o sin papilas, cuando están presentes, estas están distribuidas en toda la superficie de la lámina; espinas en la zona intercostal; células largas sin cuerpos de sílice y células cortas con cuerpos de sílice crenados; puede o no presentar macrotricomas; los microtricomas están distribuidos a ambos lados de la zona intercostal. La superficie abaxial siempre con abundantes papilas, células largas y células cortas con cuerpos de sílice crenados en la zona intercostal, células con cuerpos de sílice en cruz en la zona costal; con presencia o no de macrotricomas unicelulares en toda la superficie, microtricomas bicelulares en las zona intercostal; los estomas están dispuestos en una o dos lineas intercostales (Fig. 2.3).

Cuadro 2. Tamaño aproximado de las estructuras en sección transversal.

	C. concinna (µm)	*C. decumbens* (µm)	*C. dressleri* (µm)	*C. variana* (µm)
Estructuras				
Haz central	91	58	150	70
Haz de primer orden	48,6	39	59	48,6
Haz de segundo orden	30	25,4	42	33,96
Grosor de la lámina				
Sobre la vena media	166	100	290	125
Sobre los haces de primer orden	77	63	109	81
Sobre los haces de segundo orden	69,9	50	107	72,9
Sobre las células buliformes	74	52	83	65,9
Tamaño de las células				
Células buliformes	39	28	42	34
Células invaginadas adaxiales	22	10	45	25
Células invaginadas abaxiales	8,8	7,5	10	8,8
Células epidermales adaxiales	7,5	9	7,5	7,5
Células epidermales abaxiales	10	10	10	10

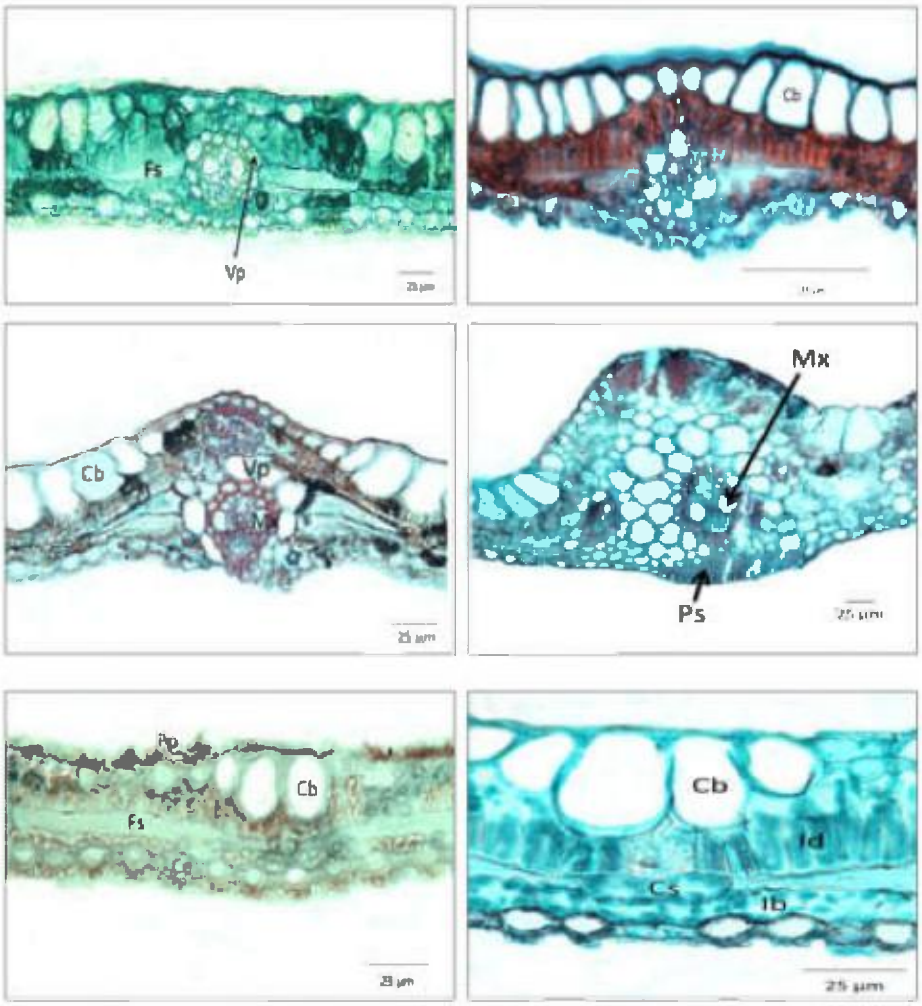


Fig. 1. A. Corte transversal de la lámina. *C. concinna*. Haz de primer orden. Vp Vaina de parénquima, Fs. Célula fusoide. B. Haz de segundo orden en *C. variana*. Vp. Vaina de parénquima, Cb. Células buliformes. C. Haz central de *C. decumbens*. Vp. Vaina de parênquima, Cb. Células buliformes. Mx. Metaxilema. **D.** Haz central de *C. dressleri* Mx. Metaxilema, Ps. Esclerênquima abaxiales. **E.** *C. decumbens*. Pp. Papilas de la superficie adaxial, Cb. Células buiformes. Fs. Célula fusoide, Ce. Célula de la epidermis abaxial. F. *C. dressleri*. Cb. Célula buliforme, Id. Invaginación de la célula invaginada. Cs. Célula de separación, Ib. Célula invaginada abaxial.

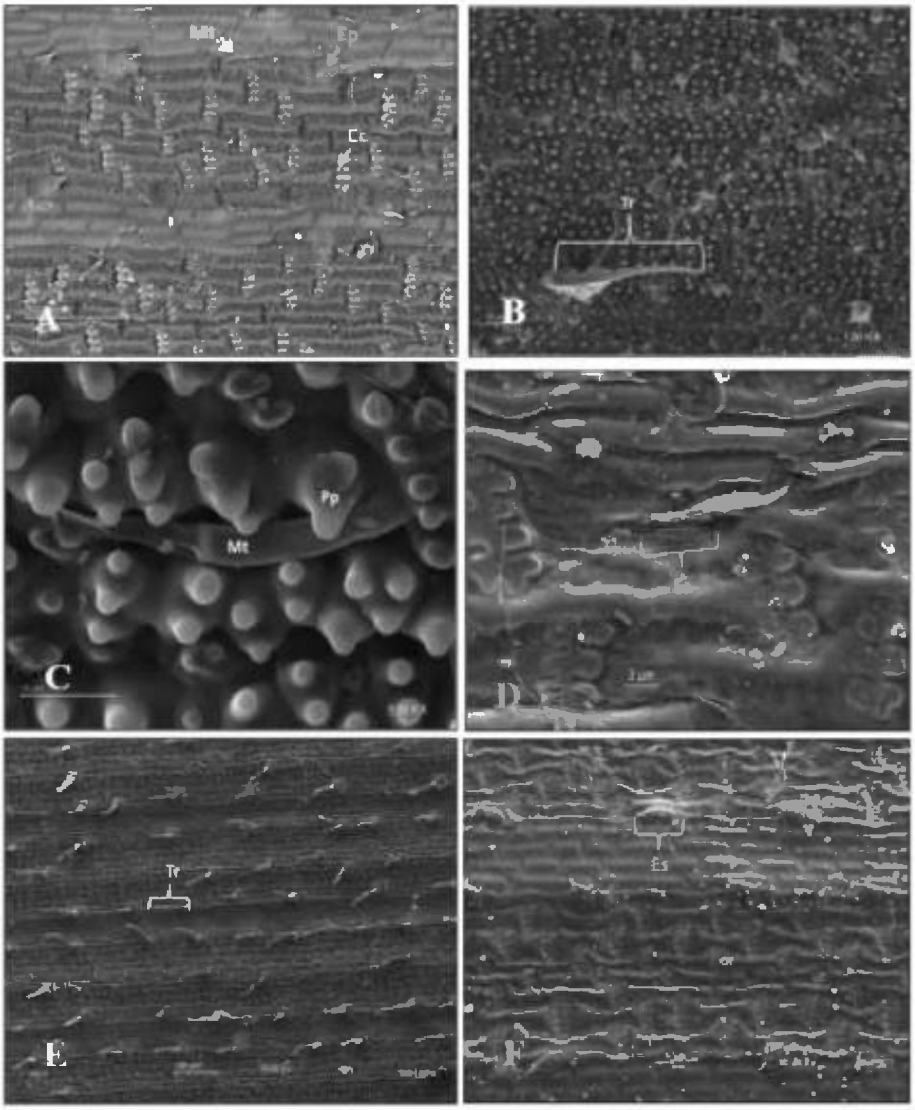


Fig. 2. Superficie adaxial de *Cryptochloa*. **A.** *C. concinna*. Mt. Microtricomas, Ep. Espina, Cc. Cuerpo de silice crenado. **B-C.** *C. decumbens*. Tr. Macrotricoma, Pp. Papilas, Mt. Microtricoma. **D.** *C. dressleri*. Es. Estoma. **E-F.** *C. variana*. Tr. Macrotricomas, Es. Espina.

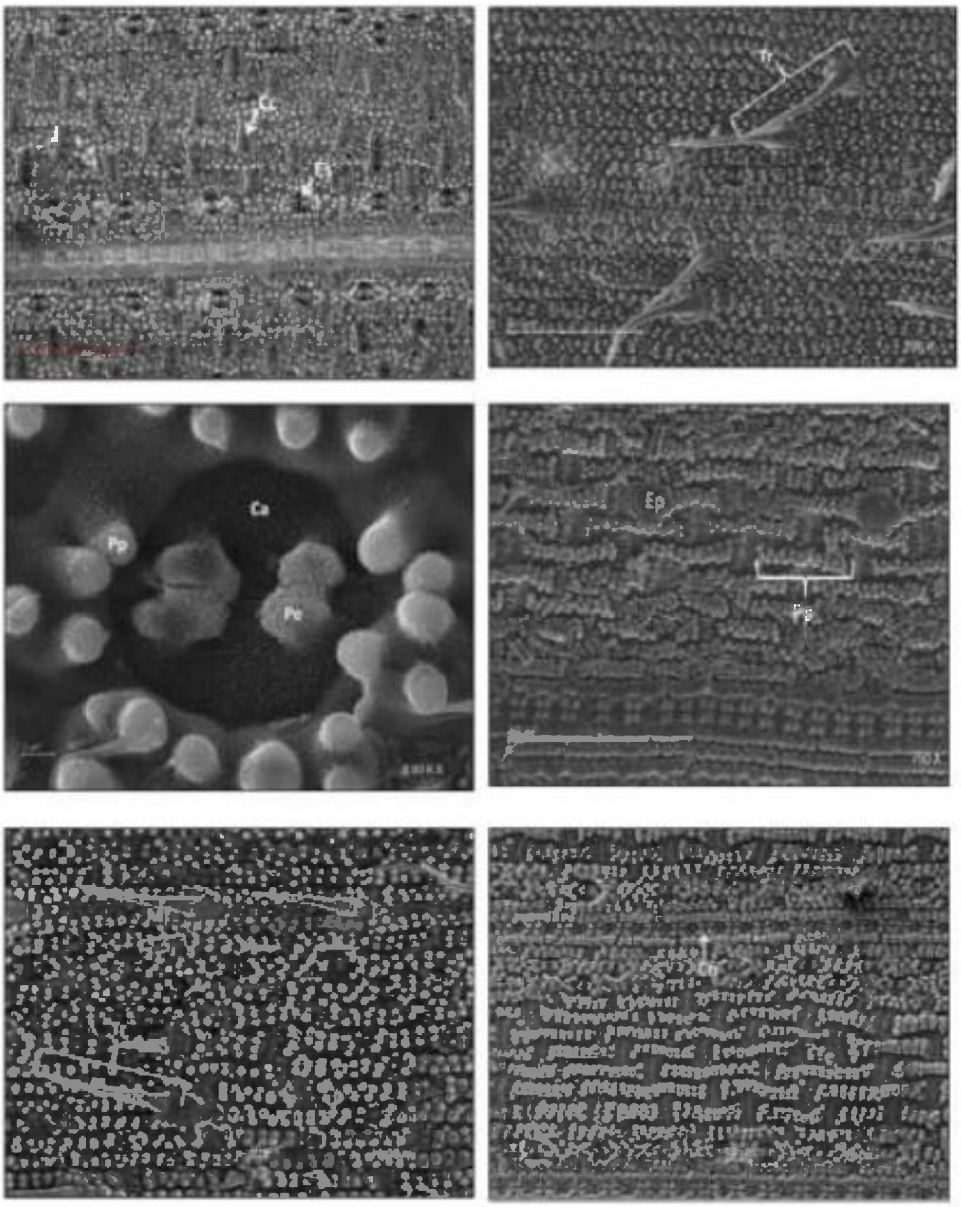


Fig. 3. Superficie abaxial de *Cryptochloa*. **A.** *C. concinna*. Cc. Cuerpos de sílice, Es. Estomas. **B-C.** *C decumbens*, Tr. Macrotricoma. **15.** Estoma, Ca. Célula acompañante, Pe. Papila del estoma, pp. Papilas. **D.** *C. dresslerl*. Ep. Espina, Pp. Papilas en las células largas. **E-F.** *C. variana*. Mt. Microtricoma, Es. Estoma, Tr. Macrotricoma, Cn. Cuerpo de sílice en cruz.

DISCUSIÓN

En la epidermis, las células cortas presentan cuerpos de sílice crenados los cuales están relacionados a la captura de luz (Soderstrom, 1982). Esta caracteristica está intimamente relacionada con las funciones fotosintéticas en las plantas (Judziewicz *et al.*, 1999). En *Cryptochloa*, las láminas son delgadas y planas, con márgenes rectos, el grosor de la lámina variaría entre las zonas costales e intercostales. Morfológicamente presentan seudopecíolos cortos y láminas basalmente asimétricas (Davidse, 1994), lineales a lanceoladas en *C. dressleri*, oblongo-lanceoladas en *C. concinna* y *C. variana*, y en *C. decumbens* oblongas a oblongo-lanceoladas.

La vaina de parénquima en los haces de primer orden y en el haz central, se encuentra interrumpida abaxialmente por proyecciones de esclerénquima, que se extienden desde la vaina del haz hasta el margen de la hoja. Según Ellis (1976) la presencia de esclerénquima proporciona tejido de apoyo. Mientras que, en los haces de segundo orden la vaina de parénquima es continua, como ocurre en *Cryptochloa capillata* (Trin.) Soderstr. (= *Olyra capillata* Trin.), mencionado por Vieira *et al.* (2002). El haz central en *C. concinna*, *C. dressleri* y *C. variana* presenta dos haces de segundo orden adyacentes, mientras que estos están ausentes en *C. decumbens*. Estas características sugieren, que estas especies podrían presentar anatomía tipo C3 en relación a lo mencionado por Hatterslery (1987).

La presencia de células con invaginaciones "arm cells" (Haberlandt, 1928; Calderón & Soderstrom, 1973; Soderstrom & Ellis, 1988), son típicas de la subfamilia Bambusoideae. En *Raddia* las células con invaginaciones, están posicionadas encima y debajo de las células fusoides, las de arriba en una o dos líneas de células y las de abajo solo en una línea (Oliveira *et al.*, 2008a), igual que en *C. capitellata* (Vieira *et al.*, 2002). En las especies estudiadas tanto la parte superior como la inferior de las células fusoides presentan una línea de células invaginadas. En la parte superior con invaginaciones irregulares generalmente con una, dos o tres invaginaciones en *C. concinna*, *C. decumbens* y *C. variana*, mientras que, para las cuatros especies, en la parte inferior las invaginaciones de las células invaginadas son irregulares, de dos o tres invaginaciones por células. Éste es uno de los caracteres que utilizamos para establecer diferencias entre las especies.

C. dressleri se separó de las otras tres especies, porque las células con invaginaciones superiores, son más largas y presentan una invaginación.

Procesos fisiológicos relacionados a la fotosintesis comprenden diferentes mecanismos de adaptación de las plantas, en el caso de la subfamilia Bambusoideae, las células del clorénquima presentan invaginaciones que promueven el aumento del área celular (Scatena & Scremin-Dias, 2003) y probablemente, aumenta la absorción de luz y eficiencia fotosintética (Oliveira *et al*., 2008a).

El parénquima clorofílico, disminuye gradualmente en tamaño y la profundidad de las invaginaciones, particularmente sugerido para *C. capitellata* en Vieira *et al*. (2002). En las especies estudiadas se observó que el margen de la hoja termina en dos o tres líneas de células esclerenquimáticas, tal como ocurre en *C. capitellata*.

Ellis (1976) menciona que las células buliformes difieren del resto de las células epidermales, porque éstas son más largas y voluminosas. Una forma de distinguir la superficie adaxial de la superficie abaxial es la presencia de las células buliformes. Estas células se localizan entre los haces vasculares y son presumiblemente las que en caso de estrés hídrico ocasionan el enrollamiento de las hojas (Judziewicz *et al*., 1999). En las especies estudiadas, las células buliformes son redondeadas a ovadas, parecidas a las sugeridas para *Raddia* por Oliveira *et al*. (2008a) y están presentes en grupos irregulares y variables de cuatro, cinco o seis células.

Soderstrom (1982) menciona que en *C. dressleri*, la epidermis abaxial contiene cuerpos de sílice en forma de cruz sobre las venas y que en las superficie adaxial, los cuerpos de sílice sobre las venas (zona costal) están ausentes. En las especies de *Cryptochloa* estudiadas, los cuerpos de sílice crenados están dispuestos en la zona intercostal en ambas epidermis y los cuerpos de sílice en cruz se encuentran en la zona costal de la superficie abaxial, y están ausentes en la superficie adaxial.

Algunos autores (Haberlandt, 1928; McNaughton & Tarrants, 1983; Hopkins, 1995; Motomura *et al.*, 2006) consideran que la presencia de sílice en las paredes de las células previene el ataque de insectos y hongos. Además, Lanning *et al.* (1958) y Moore (1984) afirman que la sílice es un elemento estructural complementario, que contribuye al soporte vegetativo. Campos y Labouriau (1969) suponen que el sílice ocasiona la reflexión de la luz en el mesófilo, aumentando la captación de luz. Esto aplicado a hierbas que habitan en lugares sombreados, como *Cryptochloa*, para aumentar la captación de luz. En Bambusoideae, generalmente se pueden observar tres tipos de anexos epidérmicos: papilas, microtricomas y espinas (Calderón & Soderstrom, 1973). Según Ellis (1979), las papilas se producen en las células largas y cortas, especialmente en la zona intercostal, en números que pueden variar de uno a muchos por célula. En *C. capitellata* y *R. brasiliensis*, se producen principalmente en las células largas en la superficie abaxial (Viera *et al.*, 2002). En las especies de *Cryptochloa* estudiadas, se observó la presencia de papilas principalmente en la superficie abaxial, aunque *C. decumbens* presentó papilas en ambas superficies a lo largo de la misma. En *C. variana* se observó la presencia de papilas en la superficie adaxial solo en algunos individuos, mientras que otros individuos presentaban la superficie adaxial lisa. En *C. concinna* y *C. dressleri* no se observaron papilas en la superficie adaxial, solo en la superficie abaxial y distribuidas en toda la superficie.

La presencia de papilas en las células epidérmicas puede estar relacionada con la distribución geográfica de las especies (Davila & Clark, 1990). Oliveira *et al.* (2008a), mencionó que las especies de *Raddia* que ocurrían en lugares secos, presentan papilas más desarrolladas que aquellas que ocurrían en lugares húmedos, donde éstas eran pocas o estaban ausentes.

Adicionalmente, se observaron otros anexos epidérmicos, tales como la presencia de espinas en la superficie adaxial, en *C. concinna*, *C. variana*, y en *C. dressleri* en la superficie abaxial. En la zona intercostal, los microtricomas en *C. concinna* son alternos a las espinas. Igualmente se observó la presencia de macrotricomas unicelulares, estos estaban presentes en ambas superficies en *C. decumbens* y algunos individuos de *C. variana*. En *C. concinna*

estaban presentes en la superficie adaxial, pero dispersos, en algunos individuos de la población en Santa Rita. Davidse (1994) en la descripción de esta especie señala la presencia de macrotricomas en la superficie abaxial.

El complejo estomático es típico de las Poaceae consiste en un estoma formado por un par de células de guarda, además, una célula subsidiaria en forma de cúpula o triangular adyacente a cada célula guarda (Metgalfe, 1960; Judziewicz *et al.*, 1999; Alquini *et al.*, 2006). Tres de las cuatros especies de *Cryptochloa* estudiadas son hipostomáticas, solamente *C. dressleri* se observó la presencia de estomas en la superficie adaxial. Los estomas abaxiales estaban dispuestos en una o dos líneas intercostalas en *C. concinna*, *C. dressleri* y *C. variana*, pero en *C. decumbens* se observó generalmente una línea de estomas.

Análisis de similitud: El análisis de similitud (Fig. 4) muestra una representación del grado de similitud que presentan las especies estudiadas, agrupando las especies de acuerdo a las variaciones anatómicas observadas. *Cryptochloa variana* y *C. decumbens*, son más similares y se mantienen agrupadas. Mientras que, *C. concinna* y *C. dressleri* forman otro grupo.

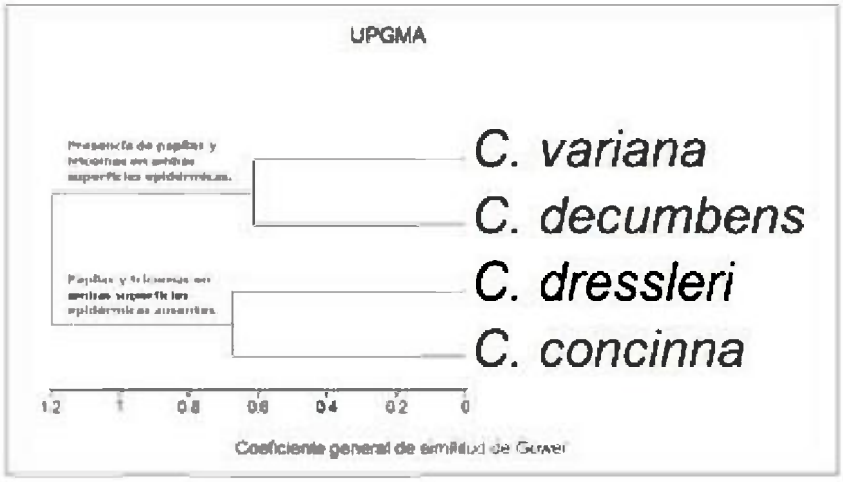


Fig. 4. UPGMA representa las agrupaciones de las especies del género *Cryptochloa*, basado en caracteres anatómicos.

Estas agrupaciones se deben principalmente a características de la epidermis, como la presencia o ausencia de papilas y macrotricomas, más que las características de anatomía interna, la cuales varían poco entre las cuatro especies. Aunque Davidse (1994) menciona que *C. variana* es una especie muy variable con poblaciones distintas en la provincia de Veraguas, donde las características morfológicas y su distribución se traslapan con las de *C. concinna*. Sin embargo, en este estudio la anatomía nos permitió relacionar más a *C. concinna* con *C. dressleri*, que con *C. variana*. Las variaciones en la forma, presencia o ausencia de ciertas estructuras pueden ser planteadas para establecer diferencias entre las especies de *Cryptochloa* revisadas en este estudio.

CONCLUSIONES

En la descripción de la anatomía en cuatro especies del género *Cryptochloa*, identificamos variaciones en presencia o ausencia de estructuras celulares tales como: macrotricomas, papilas, espinas y variaciones en el número de invaginaciones de las células con paredes invaginadas o "arm cells". Estas estructuras pueden proponerse como caracteres anatómicos, que ayuden a la separación de las especies, aunque no sean específicas para estos taxones. El análisis de similitud nos permitió separar las cuatro especies de *Cryptochloa*, formando dos grupos: un grupo formado por *C. decumbens* y *C. variana* y otro por *C. dressleri* y *C. concinna*.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Herbario de la Universidad de Panamá (PMA) y a la profesora Mireya Correa, por facilitarnos la revisión de los especímenes. Al Lic. Jorge Ceballos, técnico en microscopía electrónica del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), por tomar las fotos con el microscopio electrónico de barrido. Departamento de Zoología de la Universidad de Panamá, en especial al Prof. Daniel Quintero, por el apoyo en el laboratorio de Técnicas Histológicas, y al Sr. Dimas Stapf por su apoyo en la recolección de las muestras.

REFERENCIAS

Alquini, Y., C. Bona, M.R.T. Boeger & C.F. Barros. Epiderme. In Apezatto-da-Glória, B. And Carmello-Guerreiro, SM. (Eds.). Anatomia vegetal. Edit. UFV. Vicosa. pp 87-108.

Baldini, R.M & O.O. Ortiz. 2014. Panama as a crucial centre of differentiation for the herbaceous bamboos (Poaceae: Bambusoideae: Olyreae): a study in progress, Plant Biosyst. 148(3): 558-564.

Baldini, R.M & O.O. Ortiz. 2015. *Cryptochloa stapfii* (Poaceae: Bambusoideae: Olyreae), a new neotropical herbaceous bamboo from Panama. Phytotaxa 203(3): 271–278.

Brown, W.V. 1958. Leaf anatomy in grass systematic. Bot. Gaz. 119: 170-178.

Campos, A.C. & L.G. Labouriau. 1969, Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados II. Pesq. Agropec. Bras. 4: 143-151.

Calderón, C.E. & T.R. Soderstrom. 1973. Morphological and anatomical considerations of the grass subfamily Bambusoideae based on the new genus Maclurolyra. Smith. Cont. Bot. 11:1-55.

Calderón, C.E. & T. R. Soderstrom. 1980. The genera of Bambusoideae (Poaceae) of the American continent: keys and comments. Smithsonian Contr. Bot. 44: 1–27.

Correa, A.M.D., C. Galdames & M. Stapf. 2004. Catálogo de las plantas vasculares de Panamá. Edit. Novo Art., S.A. Bogotá. p. 32.

Cutler, D.F., T. Botha & D.W. Stevenson. 2007. Plant anatomy. An applied approach. Blackwell Publishing, USA, UK, Australia. p. 302.

Davila, P. & L.G. Clark. 1990. Scanning Electron Microscopy Survey of Leaf Epidermis of Sorghastrum (Poaceae: Andropogoneae). Amer. Jour. Bot., 77: 499-511.

Davidse, G. 1994. *Cryptochloa* Sw. En: Sousa, M. & Chater, A. Edit. Flora Mesoamericana. Universidad Autonoma de México, Instituto de Biología (UNAM). The Natural History Museum (London). Ann. Mo. Bot. Gard. 6: 213-214.

Ellis, R.P. 1976. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae I: the leaf blade as viewed in transversal section. Bothalia 12(1): 65-109.

Ellis, R.P. 1979. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae II: the epidermis as seen in surface view. Bothalia. 12(4): 641-671.

Friedman, J.H. & J.J. Meulman. 2004. Clustering objects on subsets of attributes, J. R. Stat. Soc. Series B 66: 815-849.

GPWG (Grass Phylogeny Working Group). 2001. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). Ann. Mo. Bot. Gard. 88: 373-457.

Haberlandt, G. 1928. Physiological plant anatomy. London, Macmillan & Co Ltda. p. 777.

Hattersley, P.W. 1987. Variations in photosynthetic pathway. En: T.R. Soderstrom, K.W. Hilu, C.S. Campbell & E. Barkworth (eds.). Grass Systematics and Evolution. Washington DC: Smithsonian Institution Press. pp. 49-64.

Hopkins, W.G. 1995. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, New York. p. 464.

Jacques-Félix, H. 1962. Les graminées d'Afrique tropicale. I: Generalités. Classification, description des genres. Bulletin Scientifique D'Intitu de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Viviéres, 8: xi + 345 pp.

Jesus Junior, L.A., R.P. Oliveira, K.R.B. Leite & L.B. Silva. 2012. Comparative analysis of the leaf anatomy in two Parodiolyra species (Poaceae: Olyreae) occurring on forests in Eastern Brazil. Braz. J. Biol. 72(1): 205-210.

Judziewicz, E.J.L., L.G. Clark, X. Londoño & M.J. Stern. 1999. American Bamboos. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. pp. 32-37.

Lanning, F.C., B.W. X. Ponnaiya & C.F. Crimpton. 1958. The chemical nature of silica in plants. Plant Physiol. 33(5): 339-43.

Mcclure, F.A. 1966. The bamboos: a fresh perspective. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. Reprinted as "The bamboos" in 1993 by the Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA. 345 pp.

Mcclure, F.A. 1973. Genera of bamboos native to the New World. Smithsonian Contr. Bot. 9: 1–148.

MCnaughton, S.J. & J.L. Tarrants. 1983. Grass leaf silicification: natural selection for an inducible defense against herbivores. Proc. Nat. Acad. Sci. 80: 790-791.

Metcalfe, C.R. 1960. Anatomy of the monocotyledons I: Gramineae. Clarendon Press, Oxford. pp. 731.

Moore, D. 1984. The role of silica in protecting Italian rye grass from attack by dipterous stem-boring larvae. Ann. Appl. Biol. 104(1): 161-166.

Motomura, H., T. Fuji & M. Suzuki. 2006. Silica Deposition in Abaxial Epidermis before the Opening of Leaf Blades of Pleioblastus chino (Poaceae, Bambusoideae). Ann. Bot. 97: 513–519.

Oliveira, R.P., Longhi-Wagner, H.M. & K.R. Batista. 2008. A contribuição da anatomia foliar para a taxonomia de *Raddia* Bertol. (Poaceae: Bambusoideae). Acta Bot. Bras. 22(1): 1-19.

Oliveira, R.P., E.L. Borba & H.M. Longhi-Wagner. 2008. Morphometrics of herbaceous bamboos of the Raddia brasiliensis complex (Poaceae – Bambusoideae): implications for the taxonomy of the genus and new species from Brazil. Syst. Evol. 270: 159–182.

Palmer, P.G. 1976. Grass Cuticles: A New Paleoecological Tool for East African Lake Sediments. Can. J. Bot. 54(15): 1725-1734.

Prat, H. 1932. L'Épiderme des graminées: Étude anatomique et systématique. Ann. Sci. Nat., Bot. Ser. 10(18): 165-258.

Prat, H. 1936. La Systématique des Graminées. Ann. Sci. Nat., Bot. Ser. 18: 165-258.

Sánchez-Ken, J.G., L.G. Clark, E.A. Kellogg & E.E. Kay. 2007. Reinstatement and Emendation of Subfamily Micrairoideae (Poaceae). Syst. Bot. 32: 71-80.

Sneath, P.H.A & R.R. Sokal. 1973. Numerical Taxonomy. San Francisco: Freeman.

Scatena, V.L. & E. Scremin-Dias. 2003. Parênquima, colênquima e esclerênquima. Págs. 109-127. En: B. Appezzato-da-Glória & S.M. Carmello-Guerreiro (eds.). Anatomia Vegetal. Viçosa, Editora Universidade Federal de Viçosa.

Soderstrom, T.R. 1981*a*. Some evolutionary trends in the Bambusoideae. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 68: 15-47.

Soderstrom, T.R. 1982. *Cryptochloa dressleri* (Poaceae), a new Bambusoid grass from Panama. Brittonia, 34(1): 25-29.

Soderstrom, T.R. & R. P. Ellis. 1987. The position of bamboo genera and allies in a system of grass classification. pp. 225–238. En T. R. Soderstrom, K. W. Hilu, C. S. Campbell, and M. E.

Barkworth [eds.], Grass systematics and evolution. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.

Soderstrom, T.R. & R.P. Ellis. 1988. The woody bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Sri Lanka: a morphological anatomical study. Smith. Cont. Bot. 72: 1-75.

Tateoka, T., Inoue, S. & S. Kawano. 1959. Notes on some Grasses, IX: Systematic Significance of Bicellular Microhairs of Leaf Epidermis. Bot. Gaz. 121(2): 80-91.

Vieira, R.C., D.M.S. Gomes, L.S. Sarahyba & R.C.O. Arruda. 2002. Leaf Anatomy of three herbaceous bamboo species. Braz. J. Biol. 62(4B): 907-922.

Recibido diciembre de 2015, aceptado febrero de 2016.

Tecnociencia 2016, Vol. 18, N° 1.

FUNCIONES QUE ORIGINAN CURVAS DE SEGUNDO GRADO: UN NUEVO ENFOQUE PARA EL ESTUDIO DE LAS CÓNICAS

José Antonio Camarena Berrío
Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Departamento de Matemática. Email: jose.camarenab@up.ac.pa

RESUMEN

Se analizan las características de las funciones que originan las curvas de segundo grado $f(x) = \alpha + \beta\sqrt{P(x)}$ donde α, β son números reales y $P(x)$ es un polinomio cuadrático, se identifican las condiciones que debe satisfacer la función generadora para representar una circunferencia, parábola, elipse e hipérbola. Se destaca el uso de una función generadora principal y una secundaria para los casos que la cónica en general no sea la representación de una función.

PALABRAS CLAVES

Función principal y secundaria, semicurva, elementos de la curva, gráfica de la curva.

FUNCTIONS THAT GIVE RISE TO SECOND DEGREE CURVES: A NEW APPROACH TO THE STUDY OF CONICS

ABSTRACT

An analysis of the characteristics that give rise to functions of second degree curves $f(x) = \alpha + \beta\sqrt{P(x)}$ where α, β are real numbers and $P(x)$ is a quadratic polynomial equation, is reported. The conditions that the generating function must satisfy to represent a circle, parabola, ellipse and hyperbola are identified. The use of a principal generating function is highlighted, and a secondary function is attributed for the cases which conic section is not representative of a function in general.

KEYWORDS
Primary and secondary function, semi-curved, elements of the curve, curve graph.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente las secciones cónicas se estudian antes del concepto de función, esto se evidencia en los programas de estudios de los bachilleratos y en los libros de textos (Cuellar, 2003; Guerra & Figueroa, 2004; Kindle, 1991). Aqui se propone utilizar el referido concepto para analizar sus ecuaciones, determinar los elementos y trazar las gráficas de cada una de estas curvas. Es claro que de las cuatro curvas que se estudian, la única que globalmente representa una función, desde la perspectiva $y = f(x)$, es la parábola de eje paralelo al $eje\ y$, la cual satisface la prueba de la linea vertical para una función (Baley & Sarell, 2004).

Se escriben básicamente cinco secciones descritas de la siguiente manera. La primera sección se dedica al estudio general de las características principales de las funciones que originan las curvas de segundo orden, en donde se identifican las condiciones que debe tener la función para generar cada una de las cónicas. Las cuatro secciones siguientes se dedican, respectivamente al estudio de la circunferencia, parábola, elipse e hipérbola; en donde para cada una de ellas se interpretan sus ecuaciones, se determinan sus elementos a partir de la función de la semicurva, se analizan los diferentes casos de gráficas que se generan y se presenta un ejemplo de cada una.

Si la función define la semicurva por arriba de un eje de simetría horizontal, entonces se dice que se trata de la semicurva principal, en caso contrario nos referimos a la semicurva secundaria; pero la semicurva que defina la función, la cual depende del signo que antecede al radical (positivo para la principal y negativo para la secundaria), será trazada en cada gráfica la curva de segundo grado completa la cual se genera al graficar las dos funciones en el mismo plano.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FUNCIONES QUE ORIGINAN CURVAS DE SEGUNDO GRADO

Las funciones que generan curvas de segundo grado son las funciones irracionales, específicamente las de la forma $f(x) = \alpha + \beta\sqrt{P(x)}$ donde α y β son números reales y $P(x)$ es un polinomio cuadrático que no es un cuadrado perfecto.

Si $\beta > 0$ se trata de la semicurva principal, en el caso de que $\beta < 0$ se refiera a la semicurva secundaria. Es importante tener claro que el valor absoluto del coeficiente β se puede introducir dentro del radical elevándolo al cuadrado y mantener el signo positivo o negativo para el coeficiente del radical, de manera que la forma de la función que estudiaremos no va a contener tal coeficiente β.

Definición 1: Una función f que origina una curva de segundo grado tiene la forma típica principal:

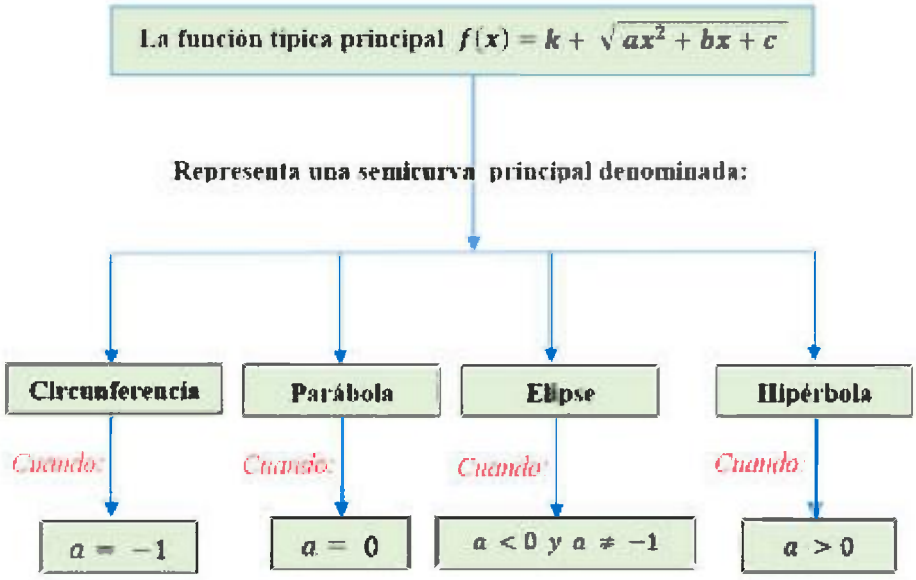
$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

O bien, la forma tipica secundaria:

$$f(x) = k - \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

donde a, b, c, k son números reales y el polinomio $ax^2 + bx + c$ no es cuadrado perfecto.

Es evidente que $f(x)$ es una función real cuando $ax^2 + bx + c \geq 0$, he aqui la condición necesaria para encontrar el dominio de la función. El siguiente diagrama ilustra las condiciones que debe cumplir la función de la definición anterior para representar cada una de las curvas que se desean estudiar.



Si la función dada no está en su forma típica entonces ella debe ser transformada a dicha forma para poder identificar qué tipo de curva de segundo grado representa. Algo más poderoso aún, es que si tenemos una ecuación general de segundo grado en la forma:

$$Ax^2 + By^2 + Dx + Ey + F = 0$$

Se sabe que representa una circunferencia cuando $A = B$; una parábola cuando $A = 0$ *ó* $B = 0$; una elipse cuando $A \neq B$, pero ambos tienen el mismo signo; una hipérbola cuando A y B tienen signos contrarios. Sin embargo, en cualquiera de los casos es posible despejar adecuadamente una variable para obtener una función de la forma $y = f(x)$, para considerar las funciones que definen las semicurvas principal y secundaria con el objeto de proceder al estudio de la curva de segundo grado.

LA CIRCUNFERENCIA

Se reitera que la función $f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$ representa una semicircunferencia principal cuando $a = -1$.

Supongamos, sin pérdida de generalidad, que el dominio de la función está definido por el conjunto siguiente:

$$Dom(f) = \{x \in \mathbb{R} \; tal \; que \; x_1 \leq x \leq x_2\}$$

Entonces los puntos $A(x_1, f(x_1))$ y $B(x_2, f(x_2))$ son extremos de un diámetro horizontal, por lo tanto, el centro de la circunferencia es el punto medio de dicho diámetro, es decir, el centro es el punto:

$$C\left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{f(x_1) + f(x_2)}{2}\right)$$

$$C\left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{f(x_1) + f(x_1)}{2}\right)$$

$$C\left(\frac{x_1 + x_2}{2}, f(x_1)\right)$$

Es claro que x_1 y x_2 son raíces del polinomio cuadrático $ax^2 + bx + c = 0$, por consiguiente, se tiene que:

$$f(x_1) = k + \sqrt{a x_1^2 + bx_1 + c}$$

$$f(x_1) = k$$

Esta es la ordenada del centro, y, si se llama, h la abscisa del centro, se tiene que las coordenadas del centro son:

$$h = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad y \quad k = f(x_1)$$

el radio es la distancia del centro $C(h,k)$ al punto $A(x_1, f(x_1))$, de manera que el radio es:

$$r = \sqrt{\left[\frac{x_1 + x_2}{2} - x_1\right]^2 + [f(x_1) - f(x_1)]^2}$$

$$r = \sqrt{\left[\frac{x_2 - x_1}{2}\right]^2}$$

$$r = \frac{|x_2 - x_1|}{2}$$

ahora bien, consideremos la función de la semicircunferencia principal:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

la misma es una semicircunferencia cuando $a = -1$, entonces se tiene que:

$$f(x) = k + \sqrt{-x^2 + bx + c}$$

si se considera la función cuadrática $-x^2 + bx + c = 0$ y como x_1, x_2 son raíces de esta ecuación, se tiene:

$$x^2 - bx - c = (x - x_1)(x - x_2)$$

$$x^2 - bx - c = x^2 - (x_1 + x_2)x + x_1x_2 = 0$$

de esta relación se obtiene que $b = x_1 + x_2$ y $c = x_1x_2$, de esta manera la abscisa del centro de la circunferencia es $h = \frac{b}{2}$, esto significa que la mitad del coeficiente de x en el polinomio cuadrático es la abscisa del centro de la circunferencia.

retomando la función $f(x) = k + \sqrt{-x^2 + bx + c}$, se tiene:

$$f(x) = k + \sqrt{c - (x^2 - bx)}$$

$$f(x) = k + \sqrt{c - (x^2 - 2hx)}$$

$$f(x) = k + \sqrt{c + h^2 - (x^2 - 2hx + h^2)}$$

$$f(x) = k + \sqrt{c + h^2 - (x-h)^2}$$

de esta forma de la función se deduce que el centro de la circunferencia es el punto de coordenadas $C(h,k)$ y el radio es $r = \sqrt{c + h^2}$, esto es evidente ya que la función puede ser escrita de la siguiente manera:

$$y = k + \sqrt{c + h^2 - (x-h)^2}$$

$$y - k = \sqrt{c + h^2 - (x-h)^2}$$

$$(x-h)^2 + (y-k)^2 = c + h^2$$

esta es la ecuación cartesiana de la circunferencia de centro $C(h,k)$ y radio igual a $r = \sqrt{c + h^2}$ (cuellar, 2003).

La parábola

La función $f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$ representa una semiparábola principal cuando $a = 0$, es decir, cuando la función tiene la forma:

$f(x) = k + \sqrt{bx + c}$ de manera que el dominio de la función se presenta cuando $bx + c \geq 0$, por lo tanto, la abscisa del vértice de la parábola es $h = -\frac{c}{b}$.

como el vértice es un punto que pertenece a la curva, entonces la ordenada del vértice es:

$$f(h) = k + \sqrt{b\left(-\frac{c}{b}\right) + c}$$

$$f(h) = k$$

el vértice es el punto de coordenadas $V(h, f(h))$. Además, si el parámetro p representa la distancia del vértice al foco, entonces el foco es el punto $F(h + p, k)$ y la directriz es la recta $y = h - p$.

un extremo del lado recto es el punto de coordenadas $A(h + p, f(h + p))$, busquemos la ordenada de este punto como sigue:

$$f(h + p) = k + \sqrt{b(h + p) + c}$$

la distancia del punto A al foco F es el doble de p, ya que la longitud del lado recto es $4p$, de manera que se tiene:

$$\overline{AF} = 2p$$

$$k + \sqrt{b(h+p) + c} - k = 2p$$

$$\sqrt{b(h+p) + c} = 2p$$

$$b(h+p) + c = 4p^2$$

$$b\left(-\frac{c}{b} + p\right) + c = 4p^2$$

$$-c + bp + c = 4p^2$$

$$p(4p - b) = 0$$

de donde se obtiene $p = 0$ y $p = \frac{b}{4}$, pero como p es una distancia se sigue que $p = 0$ no tiene sentido, por consiguiente $p = \frac{b}{4}$ es el valor de p en términos del coeficiente de x.

Si $p > 0$, la parábola abre hacia la derecha y si $p < 0$, la parábola abre hacia la izquierda.

Se ha encontrado que $p = \frac{b}{4}$ y $h = -\frac{c}{b}$, es decir, $b = 4p$ y $c = -bh = -4ph$, si estos valores se sustituyen en la función que se está estudiando, se obtiene:

$$f(x) = k + \sqrt{4px - 4ph}$$
$$y = k + \sqrt{4p(x - h)}$$
$$(y - k)^2 = 4p(x - h)$$

Ecuación cartesiana de la parábola de eje paralelo al eje de las x (fuenlabrada, 2003; zill, 2000), el lado recto que es la cuerda perpendicular al eje $y = k$ que pasa por el foco y tiene longitud igual a $LR = |4p|$.

La ecuación de la parábola de eje paralelo al eje y es de la forma (fuenlabrada, 2003):

$$(x-h)^2 = 4p(y-k)$$

en cuyo caso se puede escribir:

$$f(x) = \frac{(x-h)^2 + 4pk}{4p}$$

la misma se puede estudiar como función en la cual los elementos son similares a los de la anterior, sólo que el parámetro p afectará a las ordenadas, es decir sus elementos son: el vértice $V(h,k)$, el foco es el punto $F(h,k+p)$, la directriz es la recta $y = k - p$, el eje es $x = h$; si p es positivo, la parábola abre hacia arriba, y si es negativo abre hacia abajo.

La elipse

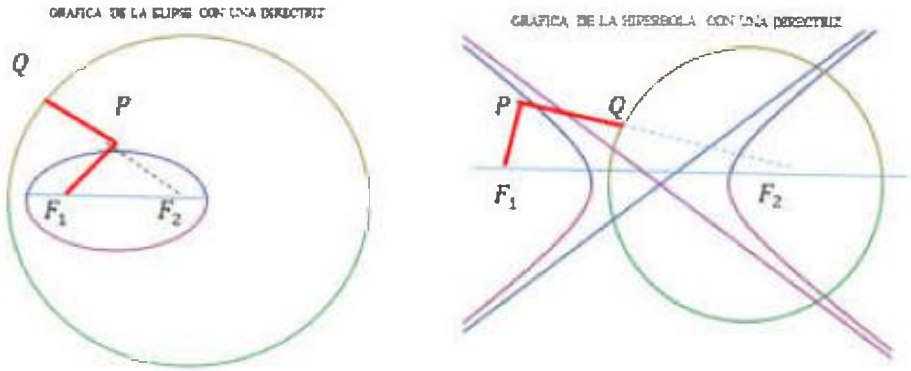
Como bien se ha visto para la parábola la directriz es una recta vertical u horizontal dependiendo de cómo sea el eje de la parábola (Cuellar, 2003; Fuenlabrada, 2003; Guerra & Figueroa, 2004), y cada punto de la parábola equidista del foco y de la directriz, parece natural poder extender esta idea para definir la elipse y la hipérbola, pero resulta que para poder definir estas curvas mediante tal enfoque las directrices de estas cónicas no pueden ser rectas puesto que los puntos no podrán equidistar de un punto fijo y de una recta fija, esta es la razón por la cual las directrices de la elipse e hipérbola son circunferencias centradas en los focos (Bruño, 1978).

Entonces tanto la elipse como la hipérbola tendrán dos directrices que son circunferencias centradas en los focos, en términos generales una directriz centrada en el foco F_1 nos permitirá definir la curva o una rama de la curva como el conjunto de puntos del plano que equidistan de un punto fijo F_2, que es el otro foco, y de una circunferencia fija centrada en el foco F_1 y de radio igual al diámetro mayor o real de la curva; es por esta razón que la suma de distancias, en el caso de la elipse, y la diferencias de distancias, en el caso de la hipérbola, es constante, pues tal constante es el radio de la circunferencia directriz (Bruño, 1978).

A pesar de que esta sección es dedicada a la elipse es necesario e importante brindar este aporte académico en la interpretación de las directrices tanto de la curva que nos ocupa como de la hipérbola que será tratada a profundidad en la siguiente sección.

Definición 4: el lugar geométrico de los puntos P de un plano que equidistan de un punto dado F y de una circunferencia (distancia tomada en dirección de la normal), se llama elipse si el punto P es interior a la circunferencia, y se llama hipérbola si el punto P es exterior a la circunferencia (Bruño, 1978).

Para interpretar gráficamente la definición anterior se presentan las siguientes gráficas, la primera ilustra la elipse con una directriz y la segunda la hipérbola con una directriz.



Es evidente en las gráficas anteriores que el radio de la directriz de la elipse es igual a la suma de las distancias del punto P a los dos focos, y que dicho punto equidista del otro foco y de la circunferencia directriz; en el caso de la hipérbola el radio de la circunferencia directriz es la diferencia de la distancia del punto P a los dos focos.

Definición 5: La elipse es el conjunto de puntos del plano cuya suma de distancias a dos puntos fijos F_1 y F_2 , llamados focos, es constante; o bien, es el conjunto de puntos P del plano que equidistan de un punto fijo F_1 y de una circunferencia de centro en F_2 y radio igual a $\overline{F_1P} + \overline{F_2P}$ (Kindle, 1991; Zill, 2000).

Recordemos que la semielipse principal está dada por la función definida por:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

Donde se tiene que $a < 0$ y $a \neq -1$.

Supongamos que el dominio de la función es el conjunto siguiente:

$$Dom(f) = \{x \in \mathbb{R} \; tal \; que \; x_1 \leq x \leq x_2\}$$

Como x_1 y x_2 son raíces del polinomio cuadrático $ax^2 + bx + c = 0$, se tiene:

$$f(x_1) = k + \sqrt{ax_1^2 + bx_1 + c}$$
$$f(x_1) = k + \sqrt{0}$$
$$f(x_1) = k = f(x_2)$$

Por lo tanto dos vértices de la elipse son los puntos siguientes:

$$V_1(x_1, k) \; y \; V_2(x_2, k)$$

El centro de la elipse es el punto medio del segmento que une estos dos vértices, es decir, el centro es el punto:

$$C(h, k) = C\left(\frac{x_1 + x_2}{2}, k\right)$$

Si el centro es el origen $C(0,0)$, entonces $x_1 + x_2 = 0$, es decir, $x_1 = -x_2$, son números reales opuestos aditivos.

Si se llama $g(x)$ la función que define la semielipse secundaria, se tiene:

$$g(x) = k - \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

Además, sabiendo que la función f define la semielipse principal, se pueden obtener los otros dos vértices, dados por:

$$V_3(h, g(h)) \; y \; V_4(h, f(h))$$

Hasta este momento se tienen los cuatro vértices de la elipse y el centro, las abscisas de los vértices que están sobre el eje de la elipse que es paralelo al eje delas x son x_1 y x_2, tal que $x_1 < x_2$, esto permite calcular la longitud del referido eje, la cual se obtiene por medio de la relación siguiente:

$$\ell_x = x_2 - x_1$$

Por otro lado, las ordenadas de los vértices sobre el eje de la elipse que es paralelo al eje de las y son $g(h)$ y $f(h)$, tal que $g(h) < f(h)$, en forma similar la longitud de dicho eje está dada por:

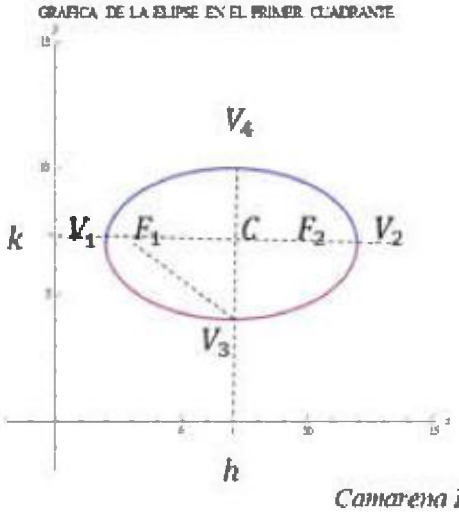
$$\ell_y = f(h) - g(h)$$

Si se comparan las longitudes de los ejes de la elipse podemos determinar si el eje mayor de la misma es paralelo al eje de las x o al eje de las y, esto origina los dos casos principales de la elipse que estudiaremos seguidamente.

ELIPSE DE EJE MAYOR PARALELO AL EJE X

Este caso se refiere a la condición de que $\ell_x > \ell_y$, es decir, el eje mayor de la elipse es paralelo al eje x.

Para un mejor análisis de este caso veamos la siguiente figura.



Sin pérdida de generalidad, se ha construido una elipse en el primer cuadrante cuyos focos son los puntos F_1 y F_2. Sea d la distancia del centro C de la elipse a uno de los focos, se prueba la congruencia de los segmentos siguientes $CV_1 \cong F_1V_3$ (véase la figura anterior) y de paso se demuestra que ℓ_x es igual a la constante que corresponde a la suma de distancias a la que se refiere la definición de elipse y por ende esta coincide con el radio de la circunferencia directriz de la elipse.

En efecto, sea Δx la distancia de los focos a los vértices sobre su eje. Consideremos que 2α es la constante que verifica la definición de elipse, como V_1 es un punto sobre la elipse, entonces dicho punto satisface la definición de elipse, de modo que:

Se satisface la siguiente relación:

$$V_1F_1 + V_1F_2 = 2\alpha$$

$$\begin{aligned} \Delta x + F_1F_2 + \Delta x &= 2\alpha \\ 2\Delta x + F_1F_2 &= 2\alpha \quad , \qquad (1) \\ x_2 - x_1 &= 2\alpha \\ \ell_x &= 2\alpha \end{aligned}$$

De este último resultado se sigue que $\alpha = \frac{\ell_x}{2}$. es la distancia del centro de la elipse a sus vértices sobre el eje mayor.

Además, como V_3 es un punto sobre la elipse, se tiene:

$$V_3F_1 + V_3F_2 = 2\alpha$$

Como el triángulo $F_1V_3F_2$ es isósceles se tiene la congruencia de los segmentos $V_3F_1 \cong V_3F_2$ de modo que:

$$\begin{aligned} V_3F_1 + V_3F_1 &= 2\alpha \\ 2\,V_3F_1 &= 2\alpha \end{aligned}$$

Igualando este valor con la expresión (1), se tiene:

$$\begin{aligned} 2\Delta x + F_1F_2 &= 2V_3F_1 \\ \Delta x + \frac{F_1F_2}{2} &= V_3F_1 \\ \Delta x + d &= V_3F_1 \\ CV_1 &= V_3F_1. \end{aligned}$$

Es claro que: $CV_1 = h - x_1$, $CV_3 = f(h) - k$, $CF_1 = d$ (distancia del centro al foco, la cual muchos autores frecuentemente la representa con la letra minúscula c).

Considerando el triángulo rectángulo CV_3F_1 y aplicando el teorema de Pitágoras, se tiene:

$$(CF_1)^2 + (CV_3)^2 = (F_1V_3)^2$$
$$(CF_1)^2 + (CV_3)^2 = (CV_1)^2$$
$$(d)^2 + (f(h) - k)^2 = (h - x_1)^2$$
$$d = \sqrt{(h - x_1)^2 - (f(h) - k)^2}$$

Esta fórmula nos permite calcular la distancia del centro a los focos de la elipse, pero la misma se puede reducir a una equivalente en la siguiente forma:

$$d = \sqrt{\left(\frac{\ell_x}{2}\right)^2 - \left(\frac{\ell_y}{2}\right)^2}$$

Esta fórmula es mucho más sencilla que la anterior porque está utilizando la mitad de los diámetros mayor y menor respectivamente.

Veamos cómo se obtienen el resto de los elemento de la elipse en este caso:

Los focos son los puntos $F_1(h-d,k)$ y $F_2(h+d,k)$.

La excentricidad, que es la forma como se encorva la curva, es: $ec = \frac{2d}{\ell_x}$

El lado recto que es la longitud de la cuerda perpendicular al eje mayor pasando por los focos es: $LR = \frac{(\ell_y)^2}{\ell_x}$

Las ecuaciones de las circunferencias directrices, las cuales tienen centros en los focos y radio igual a la longitud del eje mayor de la elipse son las siguientes:

$$[x-(h-d)]^2 + (y-k)^2 = (\ell_x)^2 \; ; \; [x-(h+d)]^2 + (y-k)^2 = (\ell_x)^2$$

ELIPSE DE EJE MAYOR PARALELO AL EJE Y

En forma similar al caso anterior se pueden hacer las demostraciones necesarias para deducir las fórmulas requeridas en este caso que se refiere al que verifica la condición de que $\ell_x < \ell_y$, esto lo queda como ejercicio propuesto.

La distancia del centro a los focos viene dada por la fórmula:

$$d = \sqrt{(f(h) - k)^2 - (h - x_1)^2}$$

Esta fórmula se puede reducir a una equivalente de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{\left(\frac{\ell_y}{2}\right)^2 - \left(\frac{\ell_x}{2}\right)^2}$$

Esta fórmula es mucho más sencilla que la anterior porque está utilizando la mitad de los diámetros mayor y menor respectivamente.

Veamos cómo se obtienen el resto de los elemento de la elipse en este caso:

Los focos son los puntos $F_1(h, k-d)$ y $F_2(h, k+d)$.

La excentricidad, que es la forma como se encorva la curva, es: $ec = \frac{2d}{\ell_y}$

El lado recto que es la longitud de la cuerda perpendicular al eje mayor pasando por los focos es: $LR = \frac{(\ell_x)^2}{\ell_y}$

Las ecuaciones de las circunferencias directrices, las cuales tienen centros en los focos y radio igual a la longitud del eje mayor de la elipse son las siguientes:

$$(x-h)^2 + [y-(k-d)]^2 = (\ell_y)^2 \; ; \; (x-h)^2 + [y-(k+d)]^2 = (\ell_y)^2$$

La Hipérbola

Definición 6: La hipérbola es el conjunto de puntos P del plano cuyo valor absoluto de la diferencia de distancias a dos puntos fijos F_1 y F_2 es constante, los puntos fijos se llaman focos [6]; o bien, es el conjunto de puntos P del plano que equidistan de un punto fijo y de una circunferencia, la distancia es tomada en dirección a la normal y los puntos son exteriores a la circunferencia (Bruño, 1978).

La función irracional que representa la rama principal de la hipérbola es de la forma:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

Mientras que la rama secundaria es representada por la función:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

En ambos casos se debe satisfacer que $a > 0$ y $b \neq 0$ ó $c \neq 0$.

Básicamente tenemos dos casos de la hipérbola caracterizados por el paralelismo de su eje real con alguno de los ejes coordenados, a saber:

- Si el eje real de la hipérbola es paralelo al eje x, este caso se puede identificar en este texto de dos maneras, la primera cuando $4ac - b^2 < 0$, y la segunda cuando el dominio de la función es de la forma $Dom(f) = (-\infty, x_1] \cup [x_2, +\infty)$ para x_1 y x_2 dos números reales finitos.
- Si el eje real de la hipérbola es paralelo al eje y, en este tipo de curva se identifica por el hecho de que $4ac - b^2 > 0$, o bien, porque el dominio de la función es d la forma $Dom(f) = (-\infty, +\infty)$.

Propiedad 1: Toda curva de segundo grado que posee centro y generada por la función de la forma:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bc + c}\ ,$$

tiene como abscisa del centro:

$$h = -\frac{b}{2a}$$

HIPÉRBOLA DE EJE REAL PARALELO AL EJE X

En este caso la función generadora $f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$ con las condiciones $a > 0$ y $b \neq 0$ ó $c \neq 0$, tiene dominio $Dom(f) = (-\infty, x_1] \cup [x_2, +\infty)$ y satisface que $4ac - b^2 < 0$, en cuyo cado la abscisa del centro es:

$$h = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$h = -\frac{b}{2a}$$

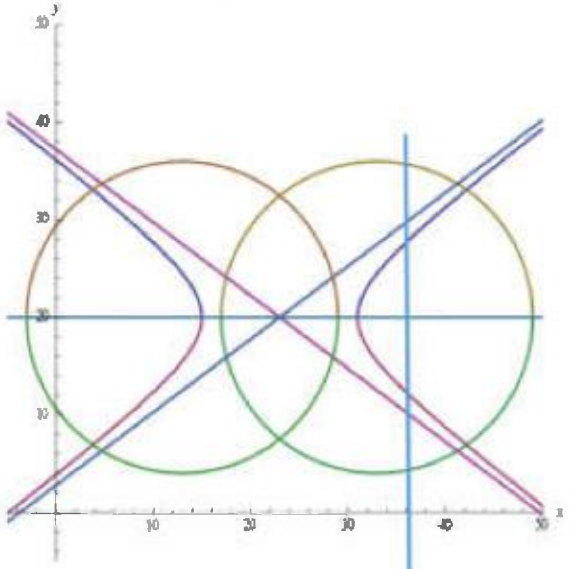
Como $f(x_1) = f(x_2) = k$ f(x₁), entonces el centro de la hipérbola es el punto de coordenadas $C(h, k)$.

Los vértices de la hipérbola son los puntos $V_1(x_1, k)$ y $V_2(x_2, k)$, el eje real es la recta $y = k$, mientras que el eje imaginario es la recta $x = h$.

Veamos la siguiente gráfica la cual nos permite una mejor interpretación de los resultados que se desean establecer.

Los puntos B_1 y B_2 son puntos equidistantes del centro de la hipérbola y están sobre el eje imaginario, por esta razón se denominan, con mucha frecuencia, vértices imaginarios.

GRÁFICA DE LA HIPÉRBOLA EN EL PRIMER CUADRANTE



A partir de la función que representa la rama principal de la hipérbola, se tiene:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$

$$f(x) - k = \sqrt{a(x^2 + \frac{b}{a}x) + c}$$

$$f(x) - k = \sqrt{a\left(x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{b^2}{4a^2}\right) + c - \frac{b^2}{4a}}$$

$$[f(x) - k]^2 = a\left(x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{b^2}{4a^2}\right) + c - \frac{b^2}{4a}$$

$$[f(x) - k]^2 = a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + c - \frac{b^2}{4a}$$

$$[f(x) - k]^2 - a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a}$$

$$\frac{[f(x) - k]^2}{a} - \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a^2}$$

$$\frac{[f(x) - k]^2}{\frac{4ac - b^2}{4a}} - \frac{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2}{\frac{4ac - b^2}{4a^2}} = 1$$

Recordemos que el caso que se está estudiando verifica la condición dada por $4ac - b^2 < 0$; por consiguiente, esta ecuación toma la forma:

$$\frac{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2}{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2}} - \frac{[f(x) - k]^2}{\frac{b^2 - 4ac}{4a}} = 1$$

Ésta ecuación tiene la forma cartesiana de la hipérbola dada por:

$$\frac{(x-h)^2}{(a_0)^2} - \frac{(y-k)^2}{(b_0)^2} = 1,$$

donde el centro es el punto $C(h,k)$, y las cantidades a_0 y b_0 son las distancias del centro a los vértices reales e imaginarios, respectivamente.

Por lo tanto, se tiene que:

$$h = -\frac{b}{2a} \; ; \; (a_0)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \; ; \; (b_0)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a}$$

$$h = -\frac{b}{2a} \; ; \; a_0 = \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \; ; \; b_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{a}}$$

Los vértices de la hipérbola podemos obtenerlo por medio de la siguiente forma:

$$V_1(h - a_0, k) \; ; \; V_2(h + a_0, k)$$

Los vértices sobre el eje imaginario son los puntos:

$$B_1(h, k - b_0) \; ; \; B_2(h, k + b_0)$$

Si llamamos d la distancia del centro a los focos tenemos que:

$$d = \sqrt{(a_0)^2 + (b_0)^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2} + \frac{b^2 - 4ac}{4a}}$$

$$d = \sqrt{\frac{b^2 - 4ac + a(b^2 - 4ac)}{4a^2}}$$

$$d = \sqrt{\frac{(a + 1)(b^2 - 4ac)}{4a^2}}$$

$$d = \frac{\sqrt{(a + 1)(b^2 - 4ac)}}{2a}$$

Los focos tienen las siguientes coordenadas:

$$F_1(h - d, k) \; ; \; F_2(h + d, k)$$

La excentricidad es de la curva viene dada por:

$$ec = \frac{d}{a_0}$$

$$ec = \frac{\frac{\sqrt{(a + 1)(b^2 - 4ac)}}{2a}}{\frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}}$$

$$ec = \sqrt{a + 1}$$

La longitud del lado recto es:

$$LR = \frac{2(b_0)^2}{a_0}$$

$$LR = \frac{2\left(\frac{b^2 - 4ac}{4a}\right)}{\frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}}$$

$$LR = \sqrt{b^2 - 4ac}$$

Si se traza el rectángulo de lados V_1V_2 y B_1B_2 que pasan por los vértices, entonces las diagonales de este rectángulo son las rectas L_2 y

L_2 . dichas rectas son llamadas asintotas de la hipérbola y sus ecuaciones son:

$$y = k \pm \sqrt{a}\left(x + \frac{b}{2a}\right)$$
$$y = k \pm \sqrt{a}(x - h)$$

Según la definición de hipérbola, se tiene:

$$r = V_1F_2 + V_1F_1$$

Este valor es constante y es el radio de las circunferencias directrices, se tiene:

$$r = V_1F_2 + V_1F_1$$
$$r = (h+d) - x_1 - [x_1 - (h-d)]$$
$$r = h + d - x_1 - x_1 + h - d$$
$$r = 2h - 2x_1$$
$$r = 2(h - x_1)$$
$$r = \ell_x$$

Las ecuaciones de las directrices son:

$$[x - (h-d)]^2 + (y-k)^2 = (\ell_x)^2 \; ; [x - (h+d)]^2 + (y-k)^2 = (\ell_x)^2$$

HIPÉRBOLA DE EJE REAL PARALELO AL EJE Y

En este caso el dominio de la función son todos los números reales y se verifica que $4ac - b^2 > 0$.

A partir de la función que representa la rama principal de la hipérbola, se tiene:

$$f(x) = k + \sqrt{ax^2 + bx + c}$$
$$f(x) - k = \sqrt{a(x^2 + \frac{b}{a}x) + c}$$
$$f(x) - k = \sqrt{a\left(x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{b^2}{4a^2}\right) + c - \frac{b^2}{4a}}$$

$$[f(x) - k]^2 = a\left(x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{b^2}{4a^2}\right) + c - \frac{b^2}{4a}$$

$$[f(x) - k]^2 = a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + c - \frac{b^2}{4a}$$

$$[f(x) - k]^2 - a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a}$$

$$\frac{[f(x) - k]^2}{a} - \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a^2}$$

$$\frac{[f(x) - k]^2}{\frac{4ac - b^2}{4a}} - \frac{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2}{\frac{4ac - b^2}{4a^2}} = 1$$

Recordemos que el caso que se está estudiando verifica la condición dada por $4ac - b^2 > 0$, entonces esta ecuación mantiene la misma forma, por lo que ella se compara con la cartesiana de la hipérbola dada por:

$$\frac{(y-k)^2}{(b_0)^2} - \frac{(x-h)^2}{(a_0)^2} = 1,$$

donde el centro es el punto $C(h,k)$, y las cantidades a_0 y b_0 son las distancias del centro a los vértices reales e imaginarios, respectivamente.

Por lo tanto, se tiene que:

$$h = -\frac{b}{2a} \; ; \; (a_0)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a^2} \; ; \; (b_0)^2 = \frac{4ac - b^2}{4a}$$

$$h = -\frac{b}{2a} \; ; \; a_0 = \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a} \; ; \; b_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4ac - b^2}{a}}$$

Los vértices de la hipérbola podemos obtenerlo por medio de la siguiente forma:

$$V_1(h, k - b_0) \; ; \; V_2(h, k + b_0)$$

Estos vértices también se pueden obtener evaluando las funciones g y f, secundaria y principal, respectivamente, en el valor de la abscisa del centro, de esta manera los vértices son:

$$V_1(h, g(h)) ; \ V_2(h, f(h))$$

Los vértices sobre el eje imaginario $y = k$ son los puntos:

$$B_1(h - a_0, k) ; \ B_2(h + a_0, k)$$

Si llamamos d la distancia del centro a los focos tenemos que:

$$d = \sqrt{(a_0)^2 + (b_0)^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{4ac - b^2}{4a^2} + \frac{4ac - b^2}{4a}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4ac - b^2 + a(4ac - b^2)}{4a^2}}$$

$$d = \sqrt{\frac{(a + 1)(4ac - b^2)}{4a^2}}$$

$$d = \frac{\sqrt{(a + 1)(4ac - b^2)}}{2a}$$

Los focos tienen las siguientes coordenadas:

$$F_1(h, k - d) \ ; \ F_2(h, k + d)$$

La excentricidad es de la curva viene dada por:

$$ec = \frac{d}{b_0}$$

$$ec = \frac{\frac{\sqrt{(a + 1)(4ac - b^2)}}{2a}}{\frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a}}$$

$$ec = \sqrt{\frac{a + 1}{a}}$$

La longitud del lado recto es:

$$LR = \frac{2(a_0)^2}{b_0}$$

$$LR = \frac{2\left(\frac{4ac - b^2}{4a}\right)}{\frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a}}$$

$$LR = \sqrt{4ac - b^2}$$

Si se traza el rectángulo de lados V_1V_2 y B_1B_2 que pasan por los vértices, entonces las diagonales de este rectángulo son las rectas L_2 y L_2 , dichas rectas son llamadas asintotas de la hipérbola y sus ecuaciones son:

$$y = k \pm \sqrt{a}\left(x + \frac{b}{2a}\right)$$

$$y = k \pm \sqrt{a}(x - h)$$

En este caso que el eje real de la hipérbola es paralelo al eje y, las ecuaciones de las directrices son:

$$(x-h)^2 + [y - (k-d)]^2 = (\ell_y)^2 \; ; (x-h)^2 + [y - (k+d)]^2 = (\ell_y)^2$$

Se sabe que $\ell_y = f(h) - g(h)$.

CONCLUSIONES

El uso del concepto de función en el tratamiento de las secciones cónicas, presupone un avance en el conocimiento del referido concepto.

El uso de la notación funcional en el estudio de las cónicas no se debilita por la prueba de la linea vertical para una elipse, sino todo lo contrario, es fortalecido al distinguir la cónica como una curva compuesta por la gráfica de dos funciones distintas en un mismo plano.

No existe controversia entre el enfoque tradicional que utiliza las ecuaciones cartesianas y el enfoque funcional que se propone, pues este último puede ser aplicado en el momento que se estudian las funciones irracionales.

El estudiante requiere de conocimientos previos para el manejo de las funciones reales de una variable, en el uso del enfoque funcional para el estudio de las cónicas.

REFERENCIAS

Baley, J. & SarelL, G. 2004. *Trigonometría.* Tercera edición revisada. Libros McGraw Hill. Impreso en México.

Bruño, G. M. 1978. Geometria: Curso superior. Editorial Bruño. Impreso en España.

Cuellar, J. 2003. *Geometría Analítica.* Tercera edición. Libros McGraw Hill. Impreso en México.

Fuenlabrada, S. 2003. *Geometría Analítica.* Segunda edición. Libros McGraw Hill. Impreso en México.

Guerra, M. & Figueroa, S. 2004. Geometría Analítica. Libros McGraw Hill. Impreso en México.

Kindle, J. 1991. *Geometría Analítica con Trigonometría.* Primera edición. Libros McGraw Hill. Impreso en México.

Zill, D. 2000. *Álgebra y Trigonometría.* Segunda edición revisada. Libros McGraw Hill. Impreso en Colombia.

Recibido diciembre de 2014, aceptado abril de 2016.

LA INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN PESQUERA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINA DE PANAMÁ

Carlos Vergara-Chen
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT-AIP). Apartado 0843-01103 Panamá, Panamá
Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Apartado 0819-07289 Panamá, Panamá.
E-mail: vergara.chen@gmail.com

RESUMEN
La biodiversidad marina de Panamá ha permitido el desarrollo de una industria pesquera próspera, sin embargo, desde el año 2008 las capturas y el valor de los desembarques han ido decayendo. En este artículo se revisa el estado actual de los recursos marinos y se hace un llamado a esfuerzos para construir capacidades para la investigación, gestión y conservación en el sector pesquero a través de una propuesta nacional para Panamá. Las autoridades gubernamentales y otros actores interesados no solo deben fomentar estas acciones, sino que también deben desarrollar su competencia interna en ciencia y tecnología de excelencia. La ejecución de proyectos y programas de investigación y gestión permitirá la adopción de medidas de mitigación para los efectos negativos de las actividades pesqueras, posibilitando la realización de explotaciones sostenibles y responsables que favorezcan la conservación de los recursos marinos y costeros.

PALABRAS CLAVES
Investigación pesquera, evaluación de stocks, manejo pesquero, pesca sostenible, recursos marinos de Panamá.

FISHERIES RESEARCH AND MANAGEMENT FOR CONSERVATION OF MARINE BIODIVERSITY OF PANAMA

ABSTRACT

Marine biodiversity of Panama has allowed the development of a thriving fisheries industry; however, since 2008 catches and value of landings have been declining. This paper reviews the state of marine resources and calls for efforts to build capabilities for research, management and conservation of fisheries through a national policy for Panama. Government and other stakeholders should not only promote these actions, they must also develop their internal competence in excellence science and technology. Implementation of projects and programs in research and management will allow the adoption of mitigation measures for the negative effects of fishing activities, enabling the fulfillment of sustainable and responsible exploitations that stimulate conservation of marine and coastal resources of Panama.

KEYWORDS

Fisheries research and management, stock assessment, sustainable fisheries, marine resources of Panama.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha acelerado el ritmo de destrucción de hábitats marinos, la reducción de la variabilidad genética y la extinción de especies marinas. La pérdida de la biodiversidad marina tiene consecuencias negativas en el desarrollo pesquero y en el aprovechamiento integral de los recursos marinos, actividades que constituyen la base de nuestros alimentos, medicamentos y otros productos de gran valor y utilidad (Miloslavich *et al*., 2011). Además, el detrimento de la diversidad biológica marina tiene secuelas sobre otros bienes y servicios, no sólo aquellos relacionados con el abastecimiento (como alimentación y materias primas) o que tienen importancia económica, sino también aquellos sin un claro valor comercial, pero fundamentales y que están relacionados con la regulación de los procesos ecológicos o los que proporcionan un valor estético, exceptuando al turismo de calidad (TEEB, 2008). Las principales causas de la pérdida de la diversidad biológica en los mares costeros son la sobrepesca, la degradación de las áreas litorales debido al desarrollo industrial, el turismo y la urbanización incontrolada, la

contaminación por desechos domésticos e industriales, la extracción de arena en las zonas costeras, la introducción de especies alóctonas y el cambio climático que promueve el aumento del nivel del mar, el calentamiento y la acidificación del océano y el aumento de la frecuencia e intensidad de los temporales (Rice *et al.*, 2011; Defeo *et al.*, 2013). Ante este panorama, cada vez existe mayor conciencia de que una comprensión amplia de los problemas relacionados con la gestión y conservación de los recursos marinos y las pesquerías solo puede lograrse a través de decisiones técnicas tomadas con base al conocimiento científico, tecnológico y tradicional (Phillipson & Symes, 2013).

En particular, las ricas comunidades de peces que se encuentran en los mares costeros de Panamá siempre han representado una fuente de ingresos y medios de vida para los asentamientos humanos especialmente en la costa del Pacífico. Actualmente, las pesquerías panameñas enfrentan dos considerables problemas ambientales: la sobreexplotación y la falta de gestión, que podrán modificar fuertemente la estructura y el funcionamiento de las poblaciones sensibles. Asimismo, las restricciones que afectan a la pesca en Panamá son muy bien conocidas y se han descrito en varias revisiones (Vega, 2004; Maté, 2005; Serrano, 2011; Pacheco Rovira, 2013; Harper *et al.*, 2014) y se pueden destacar el bajo aprovechamiento comercial de las especies capturadas, el bajo número de investigaciones y publicaciones científicas (en aspectos biológicos, tecnológicos y socioeconómicos) y la escasa base de datos estadísticos pertinentes, entre otras limitaciones. Esta serie de problemas y obstáculos ha traído como consecuencia bajos rendimientos en la producción pesquera nacional en los últimos años por lo que se hace necesario enfrentar y buscar soluciones a estos problemas de cara al futuro. En el presente artículo se entrega un punto de vista sobre el estado actual de los recursos marinos y se hace un llamado a esfuerzos para construir capacidades para la investigación, gestión y conservación de las pesquerías. Además se proponen estrategias que integran la elaboración y aplicación de planes de acción específicos en los sectores de la pesca, la acuicultura y los ecosistemas marinos y costeros como auxilio a la conservación de la biodiversidad marina.

ESBOZANDO LA SITUACIÓN DE LAS PESQUERÍAS

La biodiversidad marina de Panamá ofrece un conjunto de recursos biológicos que han permitido el desarrollo de una industria pesquera próspera. Sin embargo, desde el año 2008 los volúmenes de las capturas expresados en toneladas métricas (t) y el valor de los desembarques de la pesca industrial y artesanal han ido decayendo (Fig. 1) (datos de la Contraloría General de la República de Panamá). Las cifras para el año 2008 reflejaron 236,736 t de pescado desembarcado y aunque al año siguiente la cifra se incrementó a 241,056 t, a partir del 2010 las capturas cayeron hasta el año 2012 (102,773 t en pescado desembarcado), mientras que en el año 2013 la cifra alcanzó los 128,217 t, lo que representa un incremento en capturas, pero todavía muy por debajo del rendimiento que tenía la industria en 2008 y 2009. Obviamente, el valor monetario de los desembarques de pescado mostró una tendencia similar a la observada para los volúmenes de capturas con una caída desde 2008 (331,523.00 US dólares) hasta 2012 (111,475.00 US dólares) y 2013 (127,828.00 US dólares). Las fluctuaciones en los datos de captura y valor monetario observadas con un decrecimiento evidente en las cifras destacan la necesidad de ejecutar investigaciones con el fin de evaluar y mejorar las poblaciones o stocks de interés pesquero y la puesta en marcha de planes de gestión adecuados basados en criterios ecosistémicos y diseñados a largo plazo. Destacar que la falta de un adecuado manejo ha sido reconocida como la causa principal que conduce a la declinación de las poblaciones naturales y afecta seriamente el bienestar de las comunidades costeras cuyas actividades pesqueras están en riesgo de desaparecer (Castello *et al.*, 2007; Harper *et al.*, 2014; McClanahan & Abunge, 2015). De este modo, las interacciones entre las pesquerías y los ecosistemas marinos y costeros deben ser analizadas detenidamente para acrecentar nuestra comprensión del impacto real de la actividad pesquera sobre la diversidad biológica marina. Además, deben definirse claramente las necesidades en materia de investigación y evaluación pesquera para diseñar políticas de gestión tendientes a preservar los recursos vivos marinos (Parada *et al.*, 2013; Makino & Sakurai, 2014).

Existen algunos análisis sobre la situación de los recursos pesqueros panameños (Vega, 2004; Maté, 2005; Serrano, 2011; Pacheco Rovira, 2013; Harper *et al.*, 2014; Vergara-Chen, 2014; Vergara-Chen *et al.*, 2015). La conclusión general de dichos análisis es que hay una carencia de estadísticas pesqueras confiables. La pesca comercial en Panamá se realiza principalmente en el litoral Pacífico y está dirigida a especies de camarones costeros y de profundidad, peces pelágicos pequeños y grandes, y especies demersales, mientras que la extracción de invertebrados bentónicos marinos es más común en la costa Caribe. Las actividades extractivas han afectado o están afectando seriamente a la población de algunas de especies con valor comercial en ambas costas, como langostas (*Panulirus argus* y *P. gracilis*), caracol rosado y cambute (*Lobatus gigas* y *L. galeatus*) y pepinos de mar (*Holothuria mexicana*, *Isostichopus badionotus*, *I. fuscus* y *Astichopus multifidus*) debido a la sobreexplotación y destrucción de sus hábitats. Se han aplicado algunas medidas de conservación, tales como moratorias pesqueras de captura de langostas, caracol rosado, cambute y pepinos de mar. Por otra parte, existen buenas expectativas para el desarrollo del cultivo de moluscos bivalvos comerciales con la participación de comunidades pesqueras locales e inversores privados (Serrano, 2011).

Los datos más confiables sobre número de capturas por especie provienen de la pesca industrial, mientras que la pesca a pequeña escala está subestimada (Harper *et al.*, 2014). Los descartes de la fauna acompañante del camarón son enormes, hasta 6 o 7 veces las capturas reportadas de camarones. Parece evidente que la pesca de grandes pelágicos se incrementó notablemente desde 2000, siendo mayor fuera de la Zona Económica Exclusiva de Panamá. No obstante, en la actualidad, las pesquerías pelágicas enfrentan problemas de regulación y ordenamiento que han causado reducción de las capturas y una importante depresión económica (Pacheco Rovira, 2013). La pesca de langostas, moluscos, tiburones y peces de escama está comenzando a ser considerada en las evaluaciones, aunque los planes de gestión no existen o son endebles, aunado a que la pesca se reduce a pocas especies, por lo que se necesita diversificarla (Vega, 2004; Maté, 2005; Vergara-Chen, 2014; Vergara-Chen *et al.*, 2015). También se debe considerar la incorporación de medidas de manejo para la pesca recreativa independientemente que un reciente estudio sugiera que Panamá puede disfrutar de un aumento de empleos y la prosperidad

económica a partir del aprovechamiento deportivo de sus recursos pesqueros (Southwick *et al.*, 2013). De cualquier manera, la pesca recreativa en paises en desarrollo es una actividad fantasma donde la biomasa extraida es muy importante y no se tiene en cuenta en la evaluación de los stocks, lo que hace que estén infravalorados en general y en consecuencia necesita de estudios cientificos, regulación y planes adecuados de gestión (Barnett *et al.*, 2015).

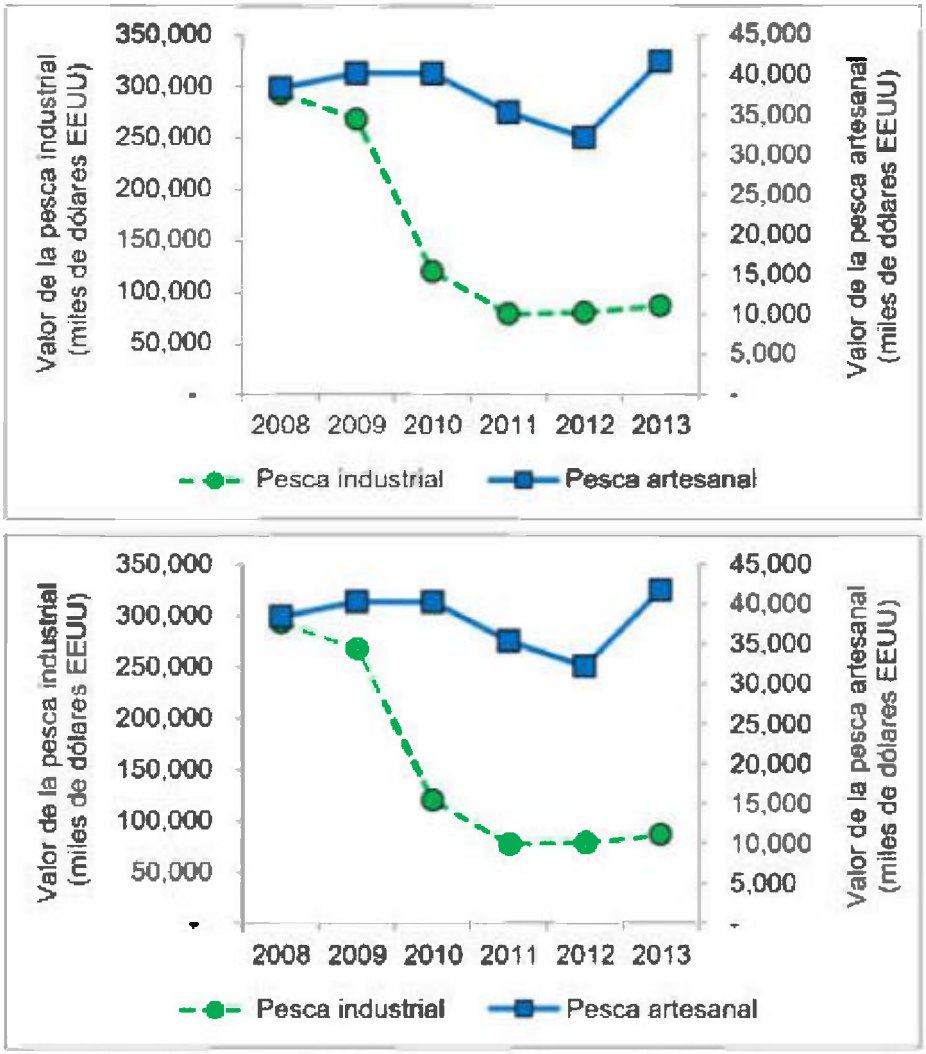


Fig. 1. Cantidad y valor del desembarque de la pesca industrial y artesanal en Panamá entre los años 2008 y 2013. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo, Contraloría General de la República, Panamá.

UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LAS PESQUERÍAS

En general, con los trabajos de Serrano (2011) y Harper *et al.* (2014) tenemos mejor documentado el estado de las pesquerías en Panamá y estos resultados, conclusiones y recomendaciones deben ser tomados en cuenta por organizaciones de pescadores, organismos no gubernamentales e instituciones estatales. Para todo lo expresado previamente se requiere mayor investigación y científicos que la realicen. En este sentido, ya es el momento para que las autoridades responsables inicien la creación de un centro nacional de excelencia dedicado a la investigación marina y pesquera. Esta institución deberá contar con equipo e instalaciones adecuadas y modernas, un presupuesto cónsono de inversión y funcionamiento, y con personal investigador altamente calificado que procurará la consecución de financiación local e internacional que aseguren la viabilidad de proyectos de investigación, desarrollo e innovación en temas de interés prioritario. Este organismo científico deberá tener como políticas la promoción de la visibilidad y el reconocimiento social de la investigación marina y pesquera, el impulso de la inserción de los investigadores en redes de colaboración, así como su participación en eventos científicos nacionales e internacionales, y el fomento de la publicación en revistas internacionales indexadas para asegurar una proyección internacional de las actividades de investigación que se desarrollen en la institución. Finalmente, deberá facilitar la transferencia del conocimiento generado por la investigación marina y pesquera a la sociedad, con el objetivo de asesorar a las autoridades y comunidades pesqueras fomentando la innovación, tecnológica o social en el uso racional de los recursos marinos y la conservación de los ecosistemas marinos. Es ineludible un proyecto nacional sobre este asunto.

Además de la investigación de los recursos marinos, la ejecución de estrategias apropiadas de gestión pesquera con base en la información científica y los conocimientos tradicionales de las comunidades pesqueras es determinante para procurar la conservación de la biodiversidad marina que considere el manejo ecológico de las pesquerías (García *et al.*, 2003). Existen varias iniciativas que buscan las mejores soluciones para lograr que la pesca sea una actividad sostenible y equitativa (Salas *et al.*, 2007; Trimble & Berkes, 2013; Brandini, 2014). Una de las iniciativas más prometedoras es el sistema de asignación de cuotas. Dicha iniciativa puede traer grandes

beneficios al país, solamente si: existen investigaciones pesqueras robustas e independientes de las presiones políticas y económicas; existe un sistema de manejo honesto y transparente; y el criterio de asignación de cuotas es equitativo para todos los actores interesados. En este contexto, es imprescindible la co-gestión pesquera y participación activa de los pescadores y las empresas privadas del sector pesquero para la ejecución de líneas de acción que tengan por objeto conservar o restaurar la biodiversidad marina frente a las actividades de la pesca o la acuicultura (Trimble & Berkes, 2013; Defeo *et al*., 2014). Algunas de estas líneas de acción son: fomentar la conservación y explotación sostenible de las poblaciones marinas; favorecer el control de los índices de explotación y la instauración de medidas técnicas para los procedimientos de captura y extracción; y reducir la repercusión de la pesca incidental y las perturbaciones por la actividad humana sobre los ecosistemas marinos y costeros. En relación con la acuicultura, se precisan estrategias para reducir su impacto ambiental, gestionar la introducción de especies exóticas, proteger la salud de las especies acuáticas cultivadas y favorecer la investigación dirigida a profundizar los conocimientos sobre la biología de los organismos y las tecnologías de producción acuícola.

En general, este conjunto de líneas de acción que involucran la investigación científica, la gestión pesquera y las políticas de conservación (Fig. 2) serán un aporte al mantenimiento de los recursos vivos marinos. Este enfoque necesita esfuerzos para construir relaciones y capacidad de trabajo interdisciplinario con el fin de lograr su integración transversal en todas las políticas sectoriales relacionadas con el medio marino. Además es fundamental establecer un ordenamiento espacial marino de todas las actividades pesqueras y marítimas. La investigación y gestión pesquera requiere un compromiso real y diligente de las autoridades gubernamentales para llevar adelante ambas actividades. Dada la amplia variedad de temas y acciones de ciencia y ordenamiento que han de realizarse, es importante contar con el respaldo político para la ejecución y continuidad del apoyo a este conjunto de acciones. Es bien conocido que la falta de continuidad de las iniciativas de investigación, ordenamiento y desarrollo pesquero a menudo se produce cuando una nueva dirección política asume el cargo y ya no se le da prioridad a los

mismos problemas que la administración anterior. Por otra parte, el colapso de los proyectos de investigación y desarrollo pesquero cuando la financiación y asistencia técnica recibida de organismos públicos, privados o no gubernamentales nacionales o internacionales termina sigue siendo un reto para los funcionarios técnicos del gobierno. Si bien un proyecto puede proporcionar beneficios durante su ejecución, los beneficios a largo plazo no siguen necesariamente después de su terminación si no se continúa el apoyo gubernamental a las actividades del proyecto (Carbonetti *et al*., 2014). Las instituciones de investigación marina, entidades de gobierno, comunidades pesqueras y todos los actores del sector pesquero deben estar incluidos en este esquema pues tienen un papel importante que desempeñar en el fomento de estas líneas de acción y a la vez deben desarrollar sus competencias internas en generación de conocimiento científico, gestión y conservación, ya que todos buscan maneras de resolver los complejos problemas que enfrentan (Phillipson & Symes, 2013).

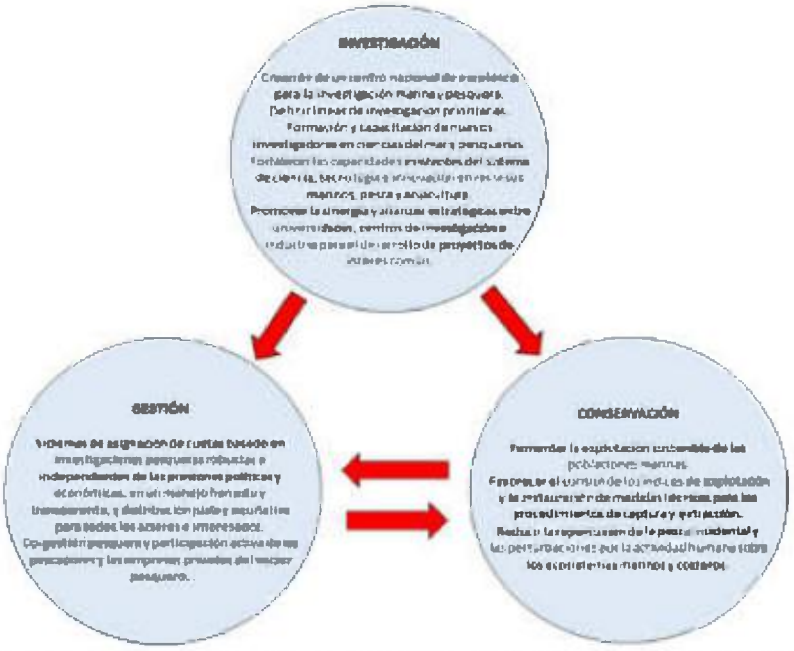


Fig. 2. Conjuntos de líneas de acción recomendadas para lograr la sostenibilidad de las poblaciones marinas explotadas. Se destaca el papel de la investigación científica como apoyo tanto para la gestión pesquera como para el diseño de políticas de conservación, mientras que las líneas correspondientes a la gestión y la conservación se encuentran interrelacionadas mutuamente.

CONCLUSIONES

El fortalecimiento de las capacidades de investigación, gestión y conservación es una necesidad prioritaria en la búsqueda del uso racional y sostenible de los recursos pesqueros de Panamá con el objetivo primordial de preservar el medio marino para las generaciones futuras. Entre los desafíos actuales del sector pesquero se incluyen: evaluación de los stocks y dinámica de poblaciones de peces, crustáceos y moluscos de interés pesquero, determinar aspectos de la historia natural de especies de interés comercial (estructura de población, reproducción, reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural y por pesca). Del mismo modo, se deben realizar investigaciones oceanográficas que incluyan el análisis de la variabilidad en los parámetros físicos y químicos del mar, así como trabajos orientados al desarrollo de productos marinos destinados a la alimentación humana y de tecnologías para el cultivo de organismos marinos. También se debe tener en cuenta los aspectos socioeconómicos de la actividad pesquera, para lo cual se deben realizar análisis económicos de las pesquerías y estimaciones de los indicadores de productividad, eficiencia y eficacia de las embarcaciones y la industria, sin descuidar la valoración de los bienes y servicios ecosistémicos. Con la información generada a través de las actividades de investigación y desarrollo, los administradores pesqueros, armadores, pescadores, acuicultores y la sociedad civil en su conjunto podrán adoptar medidas de mitigación para los efectos negativos de la pesca y la acuicultura, posibilitando la realización de explotaciones sostenibles y responsables que favorezcan la conservación de la biodiversidad de los mares costeros panameños.

AGRADECIMIENTOS

Durante la preparación de esta revisión se contó con un estímulo económico del Sistema Nacional de Investigación (contrato SNI 45-2014) de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá. Los biólogos, Dr. Oscar Esparza (Programa Marino, Fondo Mundial para la Naturaleza-WWF, España) y Dr. Moisés Bernal (Red Sea Research Center, King Abdullah University of Science and Technology, Arabia Saudita), revisaron una versión preliminar y ofrecieron comentarios que mejoraron la calidad de este trabajo.

REFERENCIAS

Barnett, A., K.G. Abrantes & R. Baker. *et al.* 2015. Sportfisheries, conservation and sustainable livelihoods: a multidisciplinary guide to developing best practice. Fish Fish. doi: 10.1111/faf.12140.

Brandini, F. 2014. Marine biodiversity and sustainability of fishing resources in Brazil: a case study of the coast of Paraná state. Reg. Environ. Chang. 14(6): 2127-2137.

Carbonetti, B., R. Pomeroy & D.L. Richards. 2014. Overcoming the lack of political will in small-scale fisheries. Marine Policy 44: 295-301.

Castello, L., J.P. Castello & C.A. Hall. 2007. Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. Gaceta Ecológica (84-85): 65-73.

Defeo, O., M. Castrejón & L.Ortega. *et al.* 2013. Impacts of climate variability on Latin American small-scale fisheries. Ecol. Soc. 18(4): 30. http://dx.doi.org/10.5751/ES-05971-180430.

Defeo, O., M. Castrejón & R.Pérez-Castañeda. *et al.* 2014. Co-management in Latin American small-scale shellfisheries: assessment from long-term case studies. Fish Fish. doi: 10.1111/faf.12101.

García, S.M., A. Zerbi & C. Aliaume. *et al.* 2003. The ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper Num 443. FAO. Roma.

Harper S., H.M. Guzman & K. Zylich & D. Zeller 2014. Reconstructing Panama's total fisheries catches from 1950 to 2010: highlighting data deficiencies and management needs. Mar. Fish. Rev. 76(1-2): 51-65.

Makino, M. & Y. Sakurai. 2014. Towards integrated research in fisheries science. Fish. Sci. 80(2): 227-236.

Maté, J. 2006. Análisis de la situación de la pesca en los golfos de Chiriquí y de Montijo. The Nature Conservancy, Panamá. 68p.

McClanahan, T.R. & C.A. Abunge. 2015. Perceptions of fishing access restrictions and the disparity of benefits among stakeholder communities and nations of south-eastern Africa. Fish Fish. doi: 10.1111/faf.12118.

Miloslavich, P., E. Klein & J. M. Diaz, *et al.* 2011. Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: knowledge and gaps. PloS One 6(1): e14631.

Pacheco Rovira, L.R. 2013. La pesca con palangre pelágico en el Pacifico panameño. Aspectos operativos de la selectividad de los anzuelos y repercusiones en la captura incidental de tortugas marinas. Tesis de Maestría, Universidad de Alicante, España. 127 pp.

Parada, C., B. Yannicelli, & S. Hormazábal, *et al.* 2013. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. Latin Am. J. Aquatic Res. 41(1): 1-28.

Phillipson, J. & D. Symes. 2013. Science for sustainable fisheries management: An interdisciplinary approach. Fish. Res. 139: 61-64.

Rice, J.C. & S.M. Garcia. 2011. Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: characteristics of the sector and perspectives on emerging issues. ICES J. Mar. Sci. 68(6): 1343-1353.

Salas, S., R. Chuenpagdee, J.C. Seijo & A. Charles. 2007. Challenges in the assessment and management of small-scale fisheries in Latin America and the Caribbean. Fish. Res. 87(1): 5-16.

Serrano, N. 2011. Status of shellfish fisheries and farming in Panama. In: Lovatelli, A.; Sarkis, S. (eds.) A regional shellfish hatchery for the Wider Caribbean: Assessing its feasibility and sustainability. FAO Regional Technical Workshop. 18-21 October 2010, Kingston, Jamaica. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No. 19. Rome, FAO. pp. 133-139.

Southwick, R., R. Nelson & R. Lachman. 2013. Sportfishing in Panama: size, economic impacts and market potential. Full report prepared by The Billfish Foundation conducted with support from The Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnologia e Innovación (SENACYT). Panamá. 31p.

TEEB. 2008. The economics of ecosystems and biodiversity - An Interim Report. European Communities. 64 pp.

Trimble, M. & F. Berkes. 2013. Participatory research towards co-management: lessons from artisanal fisheries in coastal Uruguay. J. Environ. Manag. 128: 768-778.

Vega, A.J. 2004. Evaluación del recurso pesquero en el Golfo de Montijo. Agencia española de Cooperación Internacional. Impresiones Marin, Panamá. 56p.

Vergara-Chen, C. 2014. Los robalos (Pisces, Centropomidae) del Pacífico de Panamá: desafíos emergentes en investigación y conservación. Tecnociencia (Panamá) 16(1): 15-40.

Vergara-Chen, C., Z. Guerra & G.N. Collado. 2015. El pepino de mar *Isostichopus fuscus*: recurso marino en peligro con altas necesidades de manejo. Tecnociencia (Panamá) 17(2): 21-41.

Recibido febrero de 2016, aceptado mayo de 2016.

EFECTO NEMÁTICIDA DE LOS HONGOS *Verticillium dahliae* y *Fusarium proliferatum* SOBRE HUEVOS DE *Ascaridia galli* (Nematoda: *Ascaridida*)

[1]Evelyn Henríquez[1], [1,2]Nivia Ríos, [2]Ricardo Sousa & [1,2]Nidia Sandoval
[1]Laboratorio de Investigaciones en Parasitología Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales y Tecnología Universidad de Panamá
[2]Departamento de Microbiología y Parasitología
E-mail: evelyn_419@hotmail.com, ndsandoval@hotmail.com

RESUMEN
El uso de desparasitantes químicos en gallinas crea en algunos parásitos resistencia a los mismos, razón por la cual surge la idea de la utilización de microorganismos antagónicos que actúan como enemigos naturales con la capacidad de atacar, matar y digerir nematodos; tal como ocurre con los hongos nematófagos. Este trabajo se llevó a cabo para conocer el efecto de los hongos *Verticillium dahliae* y *Fusarium proliferatum* sobre los huevos de *Ascaridia galli*. El trabajo de campo consistió en recolectar intestinos de gallinas de traspatio para revisar las heces y los intestinos de estas aves. A los vermes adultos de *A. galli*, se les extrajo los huevos y se les determinó las diferentes etapas de embriogénesis durante un periodo de 120 h a 28 °C. Posteriormente se evaluaron los efectos de los hongos *V. dahliae* y *F. proliferatum* en el desarrollo de los huevos durante 7 días. El bioensayo con *V. dahliae* permitió encontrar que la fase de contacto del hongo con el huevo se dio a las 24 h, la fase de adherencia a las 36 h, la fase de penetración a las 48 h y la fase de consumación a las 72 h. Con el hongo *F. proliferatum* los mismos resultados se lograron aproximadamente 15 h después. Los resultados comprueban el efecto ovicida de los hongos estudiados, demostrando así, su uso potencial como biocontrolador de los huevos parásitos en el ambiente.

PALABRAS CLAVES
Ascaridia galli, hongos nematófagos, control biológico, *Fusarium proliferatum*, *Verticillium dahliae*.

ABSTRACT

Since the use of chemical antiparasitics in hen creates resistance in some parasites to them, we explored the idea of using antagonic microorganisms which may act as natural enemies with the capacity to attack, kill and phagocytose nematodes; similar to what happens with nematophagus fungi. This study aimed to shed light on the effect of fungi *Verticillium dahliae* and *Fusarium proliferatum* on the eggs of *Ascaridia galli*. The field work consisted on collecting intestines of backyard hens to check the feces and intestines. From the adult vermes of *A. galli*, eggs were removed and the different phases of embryogenesis were determined during 120 hours at 28 °C. Thereafter, the effects of fungi *V. dahliae* and *F. proliferatum* were assessed in the development of eggs during 7 days. The bioassay with *V. dahliae* allowed to determine the contact phase of fungi with the egg that occurred at 24 h, the phase of adherence at 36 h, the phase of penetration at 48 h and the phase of consummation at 72 h. With the fungus *F. proliferatum* the same results were obtained approximately 15 h later. The results prove the ovicidal effect of the fungi studied, showing its potential in biological control of parasite eggs in the environment.

KEYWORDS

Ascaridia galli, nematophagus fungi, biological control, *Fusarium proliferum*, *Verycillium dahlae*

INTRODUCCIÓN

Ascaridia galli, parásito responsable de la ascaridiasis aviar, es un nematodo que se localiza en el tracto intestinal de diversas especies de aves y se considera uno de los vermes más extendidos, tanto en las poblaciones silvestres como domésticas de todo el mundo. Actualmente se considera a *A. galli* un importante problema económico en las explotaciones avícolas a nivel mundial (Ramírez *et al.*, 2005).

En los sistemas de producción animal han intervenido en la relación parásito – hospedero y han roto el equilibrio ecológico entre ambos con el uso frecuente de los desparasitantes y es debido a estas resistencias a los controles químicos que en los últimos años se ha estado investigando la posibilidad de utilizar las diversas asociaciones biológicas con la finalidad de llegar a establecer su uso potencial para el control de los parasitismos gastrointestinales con la utilización de microorganismos antagónicos como los hongos nematófagos los cuales son microorganismos con la capacidad de atacar, matar y digerir nematodos (adultos, juveniles y huevos) (González, 2013).

El uso frecuente de desparasitantes químicos ha creado resistencia a los mismos en los animales domésticos. Por ese motivo es que en los últimos años se ha investigado la posibilidad de utilizar las diversas asociaciones biológicas para el control de los parasitismos gastrointestinales. Se ha prestado atención a investigar los microorganismos antagónicos, como los hongos nematófagos, los cuales son microorganismos con la capacidad de atacar, matar y digerir nematodos (adultos, juveniles y huevos) (González, 2013).

Estos hongos tienen la habilidad de usar los nematodos como una fuente nutritiva adicional, facilitando un recurso alterno o suplementario, de tal manera que al pasar a estado parasítico cambian su morfología y desarrollan las trampas de captura (Nordbring-Hertz, 2002; Barron, 2003). Dependiendo de las estructuras se dividen en cuatro grupos: hongos predadores o atrapadores de nematodos, hongos endoparásitos o endozóicos, hongos productores de toxinas, hongos parásitos de huevos.

Este trabajo se evaluó el efecto de los hongos *Verticillium dahliae* y *Fusarium proliferatum* sobre los huevos de *Ascaridia galli* determinando su patogenicidad en diferentes disoluciones de esporas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisaron las heces extraídas de 47 intestinos de gallinas de traspatio procedentes de cuatro criaderos, ubicados en las provincias de Panamá, Coclé y Colón en la búsqueda del nematodo *A. galli*, y se anotó en una base de datos el espectro parasitológico completo de cada intestino. Lograda la identificación microscópica de los huevos, se abrió el intestino para colectar todos los nematodos macroscópicos presentes. En los intestinos de 15 gallinas de patio se detectó la presencia del adulto de *A. galli*, se trituró el intestino del nematodo y se separaron los huevos de los parásitos. Estos huevos fueron almacenados en solución salina a 4 °C hasta el momento de realizar el recuento de los mismos. A esta temperatura, los huevos detienen su proceso de embriogénesis. Los huevos colectados de varios ejemplares de *A. galli* fueron contabilizados utilizando una cámara MacMaster, en la cual se colocó en dos celdas la solución madre de huevos (0.5 ml por celda) y se calculó la cantidad de huevos por ml de la solución.

A las dos especies de hongos que se evaluaron en esta investigación *Fusarium proliferatum* y *Verticillium dahliae* se les verificó el género y la especie con la clave taxonómica de Bernett y Hunter, 1998. Ambos hongos fueron donados por el Proyecto ICBG Panamá como aporte en el Desarrollo de la investigación realizada con hongos nematofagos. Los hongos fueron cultivados en medio Agar Sabouraud (Merck KGaA 1.05438.0500) y Agar Agua (Difcolaboratory 0140-01) lográndose generar el crecimiento de las colonias con sus esporas. Se prepararon suspensiones de conidias de ambos hongos en agua destilada con Tween 80 al 0.1%.

Se determinó la concentración de conidias mediante conteo en cámara Neubauer utilizando una dilución de 1/10 de las suspensiones originales.

En el bioensayo se inoculó una solución con 100 huevos de *A. galli* por pocillos en microplatos de 6 pocillos y se le añadió disoluciones de esporas de los hongos *V. dahliae* y *F. proliferatum* inoculando desde $5{,}25x^{8}, 5{,}25x^{7}, 5{,}25x^{6}, 5{,}25x^{5}$. Se monitoreó en el microscopio la invasión de hifas del hongo sobre los huevos cada dia, hasta completar 4 dias. Pasado este periodo se realizaron montajes de la solución para la observación microscópica de la penetración hifal a la pared del huevo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Desarrollo embrionario de los huevos de *Ascaridia galli* en agua destilada a 28°C

A las 0 h el huevo de *A. galli* no estaba segmentado (0% de evolución) (Fig. 1.a). A las 24 h presentó la primera segmentación con un 20% de evolución (Fig. 1.b). A las 36 h se observó el estadio de 4 células, lo cual representa un 25 % de evolución (Fig. 1.c). A las 48 h con un 40% de evolución se observaron los blastómeros (Fig. 1.d). Tan pronto como el número de blastómeros ya es incontable, se está en la fase de mórula (45% de evolución) y se alcanzó a las 60 h (Fig. 1.e). Por la organización interna de las células y el alargamiento de la masa celular da paso a la llamada forma arriñonada a las 72 h, con un 50% de evolución embrional, que a su vez a las 96 h, en el curso de nuevas

divisiones se convierte en la forma de renacuajo o de maza, con un 60% de desarrollo (Fig. 1.f). A las 108 h el embrión tomó paulatinamente una forma cilíndrica, con un avance del 80% de evolución (Fig. 1.g), se enrolla en el limitado espacio interno. A las 116 h, sus movimientos se hacen más activos, alcanzando el 90% de evolución (Fig. 1.h) y a las 120 h, adoptan diversas posiciones con múltiples enrollamientos y presiona con movimientos de sacudida sobre la cáscara para poder eclosionar a la forma de larva, logrando el 100% de desarrollo embrionario (Fig. 1.i).

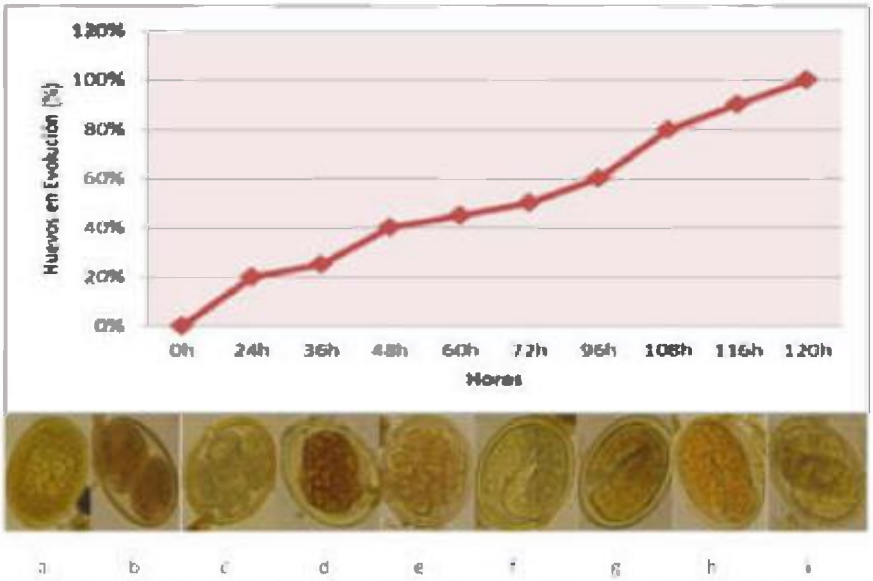


Fig. 1. Desarrollo embrionario de los huevos de *Ascaridia galli* observado durante 5 días en agua destilada a 28°C.

2. Bioensayo con los hongos

El cultivo de los hongos *V. dahliae* y *F. proliferatum*, se llevó a cabo en los medios Agar Sabouraud y Agar Agua. Los cultivos se incubaron a temperatura ambiente durante 7 días para conseguir suficiente biomasa. El medio Agar Sabouraud dio las condiciones ideales de producción de inóculo, con él se obtuvo un mayor diámetro de la colonia en ambos hongos en comparación con el medio Agar Agua. Estas diferencias pueden ser debidas a que cada especie utiliza como fuente de nutrientes compuestos que son suministrados de manera diferente por los diversos sustratos (Concepción, 1999).

De acuerdo con lo reportado en la literatura, la temperatura óptima de crecimiento y función predadora de un hongo se encuentra entre los 15° C y los 30°C, alcanzando su máxima actividad en la formación de hifas entre los 25° C y 28°C (Cooke, 1963). Esta fue la razón de utilizar este rango de temperatura para la incubación de los cultivos. Por otra parte, algunos autores aseguran que otros factores como humedad, luz, oxigeno, pH, pueden también influir en el desarrollo de estas estructuras (Sagüés *et al.*, 2011).

La clasificación de los hongos nematófagos utilizados fue según su modo de acción, tanto en *V. dahliae* como en *F. proliferatum*, y acorde con lo descrito por Lysek & Nigenda (1989). Estos hongos son parásitos de huevos y su grado de ovicidad es de 3er tipo. Esto concuerda con estudios realizados donde utilizan especies de *Fusarium* spp. como parásitos de huevos y quistes de *H. schachtii* y *H. glycines* (Nigh *et al.*, 1980, Morgan-Jones *et al.*, 1981; West *et al.*, 1988; Gintis *et al.*, 1983; Morgan-Jones, 1984).

Las observaciones realizadas en esta experiencia, mostraron la presencia de hifas adhesivas en el ensayo de ambos hongos sobre los huevos *A. galli*. A medida que aumentó el tiempo de contacto de los huevos de *A. galli* con la cepa fúngica, se formó una red hifal que atrapó a los huevos de *A. galli* y a la vez mostraban una ruptura de los huevos. El hongo aumenta la capacidad nematófaga, porque estas estructuras amplían las áreas de contacto con los nematodos. Lo que no sucede con otros tipos de hongos que forman anillos o dedos, en los cuales el punto de contacto para la captura es más reducido, disminuyendo entonces la posibilidad de atrapar a los nematodos (Barron, 1977).

Cuando la cutícula de la cáscara del huevo es penetrada por medio de las hifas, se produce un crecimiento o hinchazón que se distribuye totalmente en el contenido del huevo. Esto es considerado como una acción mecánica y a esta le sigue una alteración enzimática que afecta la permeabilidad del huevo de *A. galli*, incluso puede causar desordenes fisiológicos ante la penetración de la hifa, para utilizar los compuestos orgánicos de los huevos así degradados como sustancias nutritivas (Núñez, 2002).

También, en otros estudios, encontraron a esta especie, *V. dahliae*, atacando huevos de varias especies de nematodos sobre placas de agar in vitro y creciendo saprofíticamente sobre huevos muertos (Nigh, 1979). En ese mismo sentido, el hongo *V. dahliae* fue reportado como parásito de huevo de *Globodera pallida* por Tikhonov *et al.* (2002).

La actividad ovicida (tipo 3) de *F. proliferatum* sobre huevos de *Ascaris lumbricoides* también fue determinada en trabajos anteriores (Lsek *et al.*, 1982), lo que confirma los resultados obtenidos en este trabajo.

El monitoreo de la invasión de hifas de ambos hongos sobre los huevos de *A. galli* se llevó a cabo durante 4 días. En el caso del hongo *V. dahliae*, la germinación de esporas y el desarrollo del tubo germinativo se observó después de 12 h de haber sido inoculadas. Algunos tubos germinativos ya estaban orientados hacia la pared del huevo, intentando penetrar la cutícula de los huevos y mostraban un inicio en la ramificación de las hifas sobre la pared de los huevos.

En el bioensayo con el hongo *F. proliferatum* se dieron las mismas fases con el huevo de *A. galli*. Sin embargo, lo que varió fue el tiempo, ya que el desarrollo de la infección fue más lento en comparación con *V. dahliae*, esto puede ser debido, a que la acción ovicida en *F. proliferatum* es mucho menor sobre los huevos de *A. galli*, que sobre los huevos de *V. dahliae* (Fig. 2).

El inicio de la actividad predadora y cuánto tiempo puede durar, puede deberse a las exigencias o capacidades nutricionales de los hongos en el momento de contacto con el huevo del nematodo, aspecto enigmático que requiere de próximas investigaciones para comprender su bilogía (Núñez, 2002).

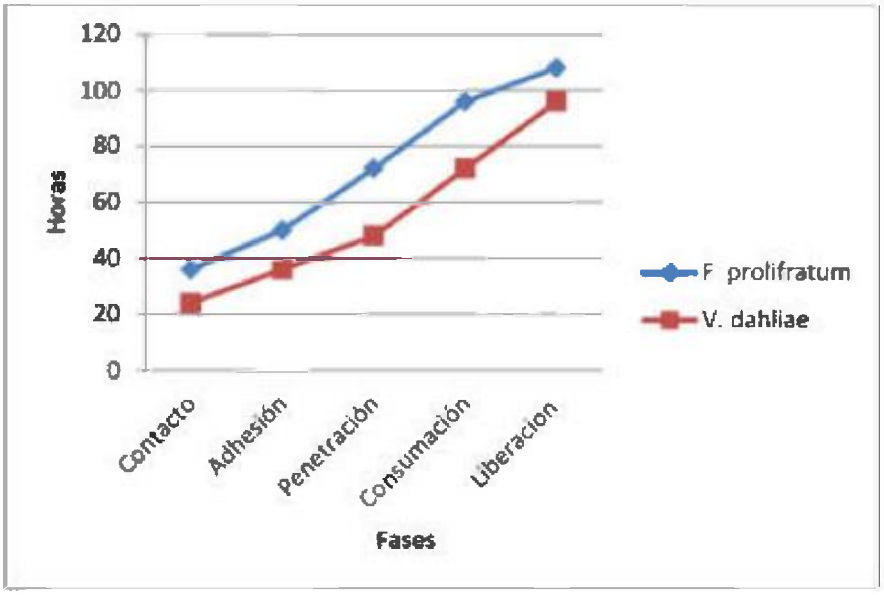


Fig. 2. Fases de los hongos *Verticillium dahliae* y *Fusarium proliferatum* durante 120 h de ensayo. Se observaron las diferentes fases de los hongos *V. dahliae* y *F. proliferatum* y el tiempo de invasión sobre los huevos de *A. galli*.

La abundante producción de clamidosporas y la forma temprana en que las mismas se desarrollan, ponen en evidencia que *V. dahliae* podría ser un buen candidato para ser empleado en el futuro como un agente de control biológico de los nematodos gastrointestinales de gallinas, ya que de acuerdo con los reportes de la literatura mundial, esta es una de las principales características que debe tener un buen organismo para el control biológico (González, 2013). Sin embargo, su utilización no es apta en áreas con cultivos tales como el olivo, sandía, papas y la berenjena. Esto debido a que invade todo el sistema vascular y la enfermedad que provoca este hongo, tiene el potencial para eliminar producciones comerciales de los cultivos en muchas localidades (Soares *et al.*, 2009).

Por otro lado, las toxinas de *Fusarium* spp. pueden causar además aberraciones en la salud de los animales; pueden llegar a causarles la muerte (Weber *et al., 2006)*.

Con respecto a la salud humana, las especies de *Fusarium* puede causar micosis oportunistas en pacientes con enfermedades hematológicas (Girmenia *et al.*, 2000).

Debido a las características arriba mencionadas, el uso de *F. proliferatum, V. dahliae.* Como agente de control biológico (en granjas a nivel doméstico) sobre huevos de *A. galli* todavía no está definido. Se debe tener en claro cuál será la utilidad del suelo que se someterá al método de biocontrol con estos dos hongos. Es recomendable realizar otros estudios que sustenten el impacto ambiental, al utilizar estos hongos para el control de la infección aviar con *A. galli*, a fin de garantizar la salud humana/animal y otras condiciones ambientales relacionadas.

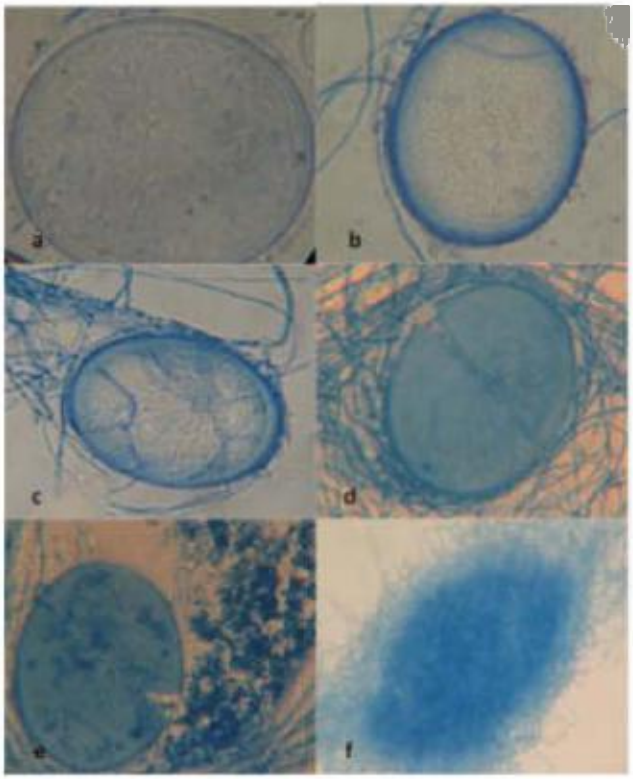


Fig. 3. (a) Huevo de *A. galli* sin el hongo, (b) Fase de contacto hongo-huevo, (c) Fase de adherencia hongo- huevo, (d) fase de penetración, (e) Fase de consumación, (f) fase de liberación.

CONCLUSIÓN

El tiempo de embriogénesis de los huevos de *A. galli* demoró 120 h para completarse. *V. dahliae* realizó todas las fases de desarrollo sobre los huevos de *A. galli* en 96 h, mientras que *F. proliferatum* requirió aproximadamente 15 h más para completar su ciclo de liberación. Se demostró la capacidad nematófaga desplegada por los hongos *F.proliferatum* y *V.dahliae*, en condiciones *in vitro*, frente a los huevos de *A. galli*. A pesar de saber que *F. proliferatum* es tóxico para algunos cultivos y *V. dahliae* también para algunos animales, se generó conocimiento útil que permitirá sentar las bases para el desarrollo y aplicación de estrategias no químicas de control de los nematodos gastrointestinales de las gallinas, para la construcción, en el futuro de sistemas de producción avícola sustentables.

AGRADECIMIENTO

Al Laboratorio de Investigaciones en Parasitología Ambiental (LIPAAM) por el apoyo en infraestructura y asesoramiento brindado para esta investigación. A los señor Julio y José Frías, a mis compañeros Rigoberto Fernández, Mariel Guillen, Karla Ramos, Katherine Rodríguez y Arleny García por ayudarme en la recolección de algunas muestras. Agencia Española de Cooperación Internacional por el financiamiento parcial de este proyecto de investigación y a la Dra. María Del Mar Siles-Lucas del Instituto de Recursos naturales de Salamanca, España, por el asesoramiento técnico que siempre ha prestado en el LIPAAM.

REFERENCIAS

Barron, G.L. 1977. The nematodedestroying fungi. Topics in Mycobiology, No.1, Canadian Biological Publications, Ltd., Guelph, Canada, 140 pp.

Barron, G.L. 2003. Predatory fungi, wood decay, and the carbon cycle. Biodiversity 4: 3-9.

Concepción, M. 1999. Caracterización biológica y molecular de hongos patógenos de huevos de nematodos. Tesis de doctorado. Universidad de Alicante, España.

Cooke, Rc. 1963. Ecological characteristics of nematode-trapping hyphomycetes. I. Preliminary studies. Ann. Appl. Biol. 52: 431-437.

Gintis, B.O., R.C Morgan-Jones & R. Rodriguez-Kabana. 1983. Fungi Associated with Several Developmental Stages of *Heterodera Glicines* from an Alabama Soybean Field Soil. Nematropica 13: 181-200.

Girmenia, C. L. Pagano, L. Corvatta, L. Mele, A. Del Favero & P. Martino. 2000. The epidemiology of fusariosis in patients with haematological diseases. British J. Hematol. 111: 272-276.

González, E. 2013. Evaluación in vitro de hongos nematofagos sobre larvas L3 de nematodos gastrointestinales de bovinos. Maestría en ciencias biológicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia.

Lsek, H, O. Fassatiova, N. Cuervo-Pineda & N. Lorenzo Hernández. 1982 "Ovicidal fungi in soils of Cuba". Folia parasit. (Praha). 29: p. 265-270.

Lysek, H., & G. Nigenda. 1989. "Capacidad de autodeshelmintización del suelo". Salud Pública Mex. 31: 763-771.

Morgan-Jones, G.O.B., Gintis & R. Rodríguez-Kabana. 1981. Fungi Associated with Cyst of Potato Cyst Nematodes in Peru. Nematropica 16: 21-31.

Morgan-Jones, R, Rodríguez-Kabana & J.G. Tovar. 1894. Fungi associated with Cyst of *Heterodera Glycines* in the Cauca Valley, Colombia. Nematropica 14: 173-177.

Nigh, E.A., I.J., Thomason, & S.D. Van Gundy. 1980. Identification and Distribution of Fungal Parasites of *Hetertodera schachtii* eggs in California, USA. Phytopathology 70: 884-889.

Nigh, E.L. 1979. *Acremonium strictum* and *Fusarium oxysporum*, Two Fungal Egg Parasites of *Heterodera schachtii*, the sugarbeet cyst nematode. PhD. Tesis. California University, USA.

Nordbring-Hertz, B., & H. Jansson Tunlid. 2002. A. Nematophagous fungi. En: Encycloppedia of life sciencies, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing. Group. http//: www.els.net. Visitado el 21 de enero de 2015.

Núñez, A. 2002. Aislamiento y evaluación de hongos nematófagos asociados a quistes de *Globodera rostochiensis* (Woll.) en la región del Cofre de Perote. Tesis de maestria. Universidad de Colima, México.

Ramírez, J., T. Arangüena, J. Ramón & S. Fernando. 2005. *Ascaridia galli*: nuevas tecnologias para el control de una antigua parasitosis. Selecciones Avicolas. Ibérica de Tecnología Avicola (Ibertec). Laboratorio de Parasitología, Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca.

Sagüés, M.F., P. Purslow, S. Fernández, L. Fusé, L. Iglesias & C. Saumell. 2011. Hongos nematófagos utilizados para el control biológico de nematodos gastrointestinales en el ganado y sus formas de administración. Rev. Iberoam. Micol.; 28(4): 143-147.

Soares, P., M. Nozaki, B. Barbosa, J. Santos & J. Barbosa. 2009. Growth and sporulation of two species of Arthrobotrys corda in different culture media and two environments. Biosci. 25 (2): 63-74.

Tikhonov, V., L López-Llorca, J., Salinas & J. Hans-Borje. 2002. Purification and characterization of chitinases from the nematophagous fungi *Verticillium chlamydosporium* and *V. suchlasporium*. Fungal Genet. Biol. 35: 67-78.

Weber, Z., M. Kostecki, S. Von Bargen, M. Gossman, A. Waskiewicz, J. Bocianowski, M. Knaflewski, C. Büttner & P. Golinski. 2006. *Fusarium* species colonizing spears and forming mycotoxins in field samples of asparagus from Germany and Poland. J. Phytopathology 154: 209-216.

West, C.P., E. Oosterhuis & R. Robbins. 1988. The effect of *Acremonium coenophialum* on the growth and nematode infestation of tall fescue. Plant. Soil. 112: p. 3-6.

Recibido enero de 2016, aceptado mayo de 2016.

Tecnociencia 2016, Vol. 18, N° 1.

DIVERSIDAD DE INSECTOS ACUÁTICOS Y CALIDAD DE AGUA DE LOS RÍOS INDIO Y GATUN DEL ALTO CHAGRES, CUENCA DEL CANAL

[1,2]Daniel Emmen, [1,2]Dora Quiros & [2]Digna Garcia
[1]Universidad de Panamá, Departamento de Zoología. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología y [2]Laboratorio de Estudios Biológicos de Insectos (Edificios de Laboratorios Científicos Lab.116, V.I.P.) Telefax.: 264-8441.
E-mail:emmen.daniel@gmail.com. dquros@gmail.com

RESUMEN
Con el fin de ampliar el conocimiento sobre la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos y además derivar información sobre la calidad del agua de los ríos Indio y Gatún (importantes fuentes de agua de la Cuenca del Canal), se llevó a cabo la identificación de las comunidades de insectos acuáticos presentes en las muestras colectadas en los años 2007 y 2008, tanto en la sección baja como la alta de ambos ríos. A partir de los índices de diversidad, indicadores biológicos, número de órdenes, familias e individuos por familia para cada río, se concluyó que la calidad del agua en ambos ríos es buena, aunque el río Gatún parece tener mejores condiciones ambientales para una mayor presencia y diversidad de insectos acuáticos.

PALABRAS CLAVES
Insectos acuáticos, río Indio, río Gatún, indicadores biológicos, biodiversidad, calidad del agua.

ABSTRACT
This study aimed at identifying aquatic insects communities in two major watersheds for Panama Canal, Indio and Gatun rivers and their water quality was carried out in 2007 and 2008, both in the lower and upper sections of both rivers. From diversity indices, biological indicators, number of orders, families and individuals per family for each river it was concluded that the water quality in both rivers is good, although the Gatun river seems to have better environmental conditions for greater presence and diversity of aquatic insects.

KEYWORDS
Aquatic insects, Indio river, Gatún river, biological indicators, biodiversity, water quality.

INTRODUCCIÓN
Los sistemas fluviales en todo el mundo están sometidos a una fuerte presión humana, lo que ha causado alteraciones importantes en las fuentes de agua que están afectando el hábitat de la fauna acuática. Los insectos acuáticos constituyen el 10% del total de las especies de insectos y están representados por nueve órdenes que cumplen alguna o todas las fases de su ciclo de vida en ríos o lagos (Springer, 2006).

La mayoría de ellos son sumamente importantes ya que cumplen funciones especiales para mantener el equilibrio de los ecosistemas acuáticos Muchas especies son depredadoras de vectores de enfermedades y otras constituyen parte del alimento de los peces y otros animales acuáticos (Springer, 2006).

Debido a la amenaza de contaminación constante de los cuerpos de agua en la actualidad, es necesario realizar estudios para conocer el estado real de estos ecosistemas en cuanto a su diversidad y abundancia de insectos acuáticos ya que éstos juegan un papel importante en el equilibrio y riqueza de los ríos y son una parte fundamental de la cadena alimenticia en el agua.

En los últimos años se han hecho esfuerzos para mejorar la eficiencia de las herramientas de monitoreo biológico para evaluar los recursos hídricos (Buss *et al.*, 2003; Czerniawska-Kusza, 2005). El uso efectivo de estas herramientas requiere una mejor comprensión de los organismos que tienen mayor influencia en los resultados del índice biótico, así como en los procesos que determinan la distribución y presencia de ciertos taxones bioindicadores en el medio ambiente (Gonçalves & Menezes, 2011).

Los análisis físicos y químicos son capaces de detectar contaminantes directamente, pero sólo reflejan la calidad del agua en el momento de muestreo (Metcalfe, 1989; Alba-Tercedor, 1996); en contraste, las comunidades biológicas proporcionan una información más confiable de las condiciones del medio ambiente a las que están continuamente expuestas (Rosenberg & Resh, 1993). Las comunidades acuáticas son un buen indicador de calidad ambiental ya que algunos organismos, especialmente varias familias de insectos acuáticos, son extremadamente sensibles a las condiciones ambientales, mientras que otros pueden sobrevivir en sistemas gravemente perturbados (Buss *et al.*, 2003). La utilización de los insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua se ha incrementado en diferentes países debido a que son visibles a simple vista, tienen un ciclo de vida largo, la mayoría son sedentarios, reflejan las condiciones locales, y su estudio resulta muy económico (Roldán, 1988).

Los índices biológicos están basados en el nivel de tolerancia de organismos a diferentes grados de contaminación del agua y sus métodos permiten describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente (Metcalfe, 1989). La variación de la riqueza de especies y/o el número de individuos por especie, brinda una idea aproximada del estado en que se encuentra el ecosistema estudiado. Se han desarrollado muchos índices para medir estos cambios estructurales pero los más utilizados son los índices de diversidad (Krebs, 1985) y los índices bióticos (Klemm *et al.*, 1990).

Procedimientos ágiles para evaluar las comunidades bióticas de las fuentes de agua se han vuelto ampliamente usados en años recientes ya que permiten examinar un gran número de sitios a un costo relativamente bajo (Rosenberg & Resh, 1993). Varios países han desarrollado índices a nivel de familia: Biological Monitoring Working Party (BMWP por sus siglas en inglés), usado en Gran Bretaña (Armitage *et al.*, 1983; Gonçalves & Menezes, 2011); el Wisconsin Biotic Index (BI, por sus siglas en inglés) (Hilsenhoff, 1987) y otros.

Dentro de los métodos existentes los hay desde los más simples en los que basta trabajar a nivel de orden o familia hasta los más complejos que pueden llegar hasta el nivel de especie. Es importante señalar que las tablas de puntuaciones ajustadas para el cálculo del BMWP para cada país están basadas en un conjunto de familias de macroinvertebrados donde la mayoría son insectos. La identificación a nivel de especie es una práctica común en sinecología. Sin embargo, no siempre es necesario en estudios aplicados, tales como la evaluación de la contaminación y monitoreo de cambios en la biodiversidad (Edwards *et al.*, 1975, Hellawell, 1977; McIntyre *et al.*, 1984; Hilsenhoff, 1988; Kingston & Riddle, 1989). La identificación de los organismos al nivel taxonómico necesario y suficiente para cumplir el o los objetivos del estudio ha sido llamado "suficiencia taxonómica" (Ellis, 1985). A medida que la suficiencia taxonómica se desplaza hacia taxones superiores (por ejemplo a nivel de orden o familia), los costos, experiencia y tiempo necesarios para identificar los organismos disminuye. Este es un factor de gran importancia que hay que tomar en cuenta en países donde se requiere hacer evaluaciones rápidas del estado de los ríos y no se cuenta con recursos económicos suficientes para llevar a cabo este tipo de estudios. En Panamá no existen claves taxonómicas de las especies de macroinvertebrados acuáticos de nuestras fuentes de agua dulce, especialmente de las formas inmaduras, y tampoco especialistas en la identificación a nivel de género y especie de estos grupos. Por esta razón parece conveniente adoptar en este trabajo las metodologías que requieren la identificación de los organismos solo a nivel de familia (Hellawell, 1989; Junqueira & Campos, 1998).

Aunque ya se tiene alguna experiencia con los bioindicadores en el trópico americano (Zúñiga de Cardozo *et al.*, 1997; Pinilla, 1998; Fenoglio *et al.*, 2002; Roldán, 2003; Sermeño-Chicas, 2010), la mayoría se han basado en los métodos europeos y norteamericanos sin que aún exista una propuesta basada en las condiciones propias de nuestros ecosistemas tropicales. El BMWP/CR y BMWP/Col han sido creados como una adaptación del índice BMWP original desarrollado en Gran Bretaña (Hellawell, 1978) para su aplicación en Costa Rica y Colombia. Estos son algunos de los índices biológicos cuya información se ha adecuado a los cuerpos de aguas de las regiones neotropicales con ambientes más similares al de Panamá. El objetivo de este trabajo es determinar la biodiversidad así como calidad del agua de los ríos Indio y Gatún (Alto Chagres), los cuáles son importantes fuentes de agua de la Cuenca del Canal a través de la identificación de las comunidades de insectos acuáticos a nivel de familia presentes en las muestras colectadas en los años 2007 y 2008, tanto en la sección baja como alta de ambos ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

dentro del área conocida como Alto Chagres, entre las provincias de Panamá y Colón que incluye el Parque Nacional Chagres y su zona de amortiguamiento, el Filo de Santa Rita, la porción sur del Parque Nacional Portobelo y la sección suroeste del Área Silvestre del Corregimiento de Narganá (Kuna Yala) (Candanedo *et al.*, 2003).

Colecta, identificación del material entomológico y análisis de los resultados. El muestreo se realizó siguiendo el protocolo sugerido por Karr & Chu (1999). Se tomaron 18 muestras en total en cada uno de los ríos utilizando un muestreador Surber. El muestreo se realizó en la sección baja (100 msnm) y alta (300-600 msnm) de ambos ríos. Tanto en la sección alta como baja de los ríos se seleccionaron tres sitios de muestreo separados 1.5 m entre sí y en cada sitio de muestreo se hicieron tres réplicas para totalizar nueve muestras en cada sección del río y 18 muestras en total por cada río. Para evitar la perturbación de los sitios de colecta, el muestreo se llevó a cabo en dirección río arriba. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Estudios Biológicos de Insectos (LEBI-VIP, Universidad de Panamá), para su respectiva identificación a nivel de orden y familia. Los organismos identificados fueron almacenados en frascos con alcohol al 70% en la colección voucher de referencia del laboratorio. Con el fin de describir la estructura de la comunidad acuática estudiada, se determinaron los siguientes índices de diversidad: riqueza-diversidad de especies (H'= función de Shannon-Wiener), equidad o equitatividad (J'= índice de Pielou) y dominancia o predominio (D'= índice de Predominio de Simpson), a nivel de familia. El valor máximo de H' para las comunidades de invertebrados bénticos en ríos es 4.5. Valores entre 2.4 - 2.5 indican que el ecosistema está bajo estrés por descargas, dragado, embalses, etc. Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas por lo que entre más alto es el valor encontrado mejor es la calidad del agua estudiada (Margalef, 1998).

Para el cálculo del índice BMWP, se sumaron las puntuaciones ecológicas de las familias según su grado de tolerancia a la contaminación, comparando los resultados con el índice BMWP de Colombia ajustado por Álvarez-Arango (2006). El índice BMWP/Col se eligió por la cercanía de la zona de estudio (Alto Chagres), a Colombia.

Otro índice de calidad de agua calculado fue el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), en donde se utilizan estos tres grupos de insectos como indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtiene contando el número de familias de estos órdenes presentes en la muestra. El valor obtenido se compara con un cuadro de calidad de agua (Klemm *et al.*, 1990). Como la taxonomía de muchos de los grupos encontrados en este trabajo no ha sido completamente estudiada en Panamá y mucho menos se ha determinado sus tolerancias específicas a la contaminación, el índice EPT serviría como un buen estimador de calidad general de agua.

El Average Score Per Taxon (ASPT, por sus siglas en inglés), fue otro índice obtenido y se calculó dividiendo el BMWP por el número de familias encontradas. Los valores ASPT se encuentran en un rango entre 0 y 10 y expresan el promedio de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas. El valor del ASPT es complementario al BMWP y da una medida más real del estado de cada sitio. Su ventaja frente al BMWP es que es independiente del esfuerzo de muestreo, de la estacionalidad y de la eficacia en la identificación (Chester, 1980). Los valores BMWP y ASPT se representan con cinco grados de contaminación y con cinco colores

que los representan en la cartografía de calidad de las aguas (Roldán, 2003; Álvarez *et al.*, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los insectos colectados en las áreas de estudio pertenecen a 10 órdenes, dentro de los que se identificaron un total de 42 familias en ambos ríos. En los dos ríos se encontraron un total de nueve órdenes y 25 familias en común lo que representa 60% del total de familias identificadas en este trabajo.

En el rio Indio se colectó un total de 1244 individuos, distribuidos en nueve órdenes y 31 familias mientras que en el rio Gatún se colectó un total de 4314 insectos, representados en nueve órdenes y 37 familias. En ambos ríos, los órdenes con el mayor número de familias fueron Trichoptera, Diptera, Coleoptera y Odonata (Fig. 1). El orden con la mayor abundancia de individuos fue Ephemeroptera tanto para el río Indio como para el rio Gatún. (Fig. 2), lo que concuerda con hallazgos previos en otros ríos (Sánchez, 2010; Posada *et al.*, 2000; Cambra & Santos, 2014), seguido por los órdenes Trichoptera, Diptera, y Coleoptera.

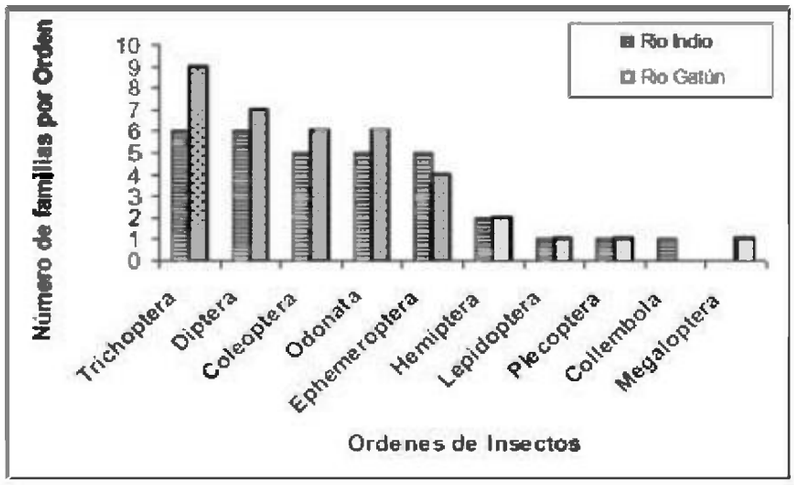


Fig. 1. Número de familias por orden en ríos Indio y Gatún (2007 y 2008).

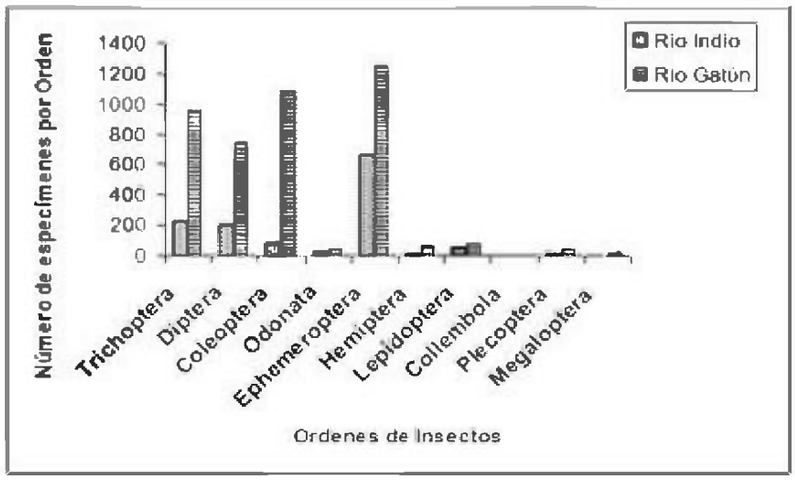


Fig 2. Número de individuos por orden en los ríos Indio y Gatún (2007 y 2008).

El Cuadro 1 presenta el número de individuos por familia presentes en los ríos Indio y Gatún con sus respectivos valores BMWP Col. En el río Indio, la abundancia total de individuos por familia fue considerablemente más baja que en el río Gatún siendo Baetidae y Leptohyphidae (Orden Ephemeroptera), Hydropsychidae (Orden Trichoptera) y Simuliidae (Orden Diptera), las únicas familias con un poco más de 100 individuos presentes. En el río Gatún, por el contrario, las familias Leptohyphidae y Baetidae (Ephemeroptera), Elmidae (Coleoptera) e Hydropsychidae (Trichoptera) presentaron más de 500 individuos cada una, por lo que son los órdenes con mayor abundancia de individuos en este río. Los efemerópteros y tricópteros son muy susceptibles a cambios bióticos o abióticos en su ecosistema (Flowers & De la Rosa, 2008).

En este estudio también se encontraron algunas familias que son altamente sensitivas a los cambios de las condiciones naturales del agua y su bajo número probablemente indica que nuestros sitios de estudio carecen de las condiciones óptimas para su desarrollo y proliferación.

Como ejemplo de esto tenemos a los plecópteros de la familia Perlidae, los cuales habitan aguas rápidas, bien oxigenadas por lo que son indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas y tienen un gran valor ecológico en los ecosistemas acuáticos, debido a que son importantes desmenuzadores de las hojas que caen en los arroyos.

A diferencia del río Indio, en el río Gatún se encontró a la familia Elmidae (Coleoptera) como la más representativa. Esto es sumamente importante ya que los élmidos son muy abundantes y diversos en ríos con presencia de gran cantidad de materia orgánica en descomposición (Gutiérrez, 2010). Las larvas se encuentran en troncos sumergidos, hojas en descomposición, raíces sumergidas y sobre rocas donde se alimentan de materia vegetal en descomposición y algas.

En el Cuadro 1 también se presenta la abundancia conjunta por familias presentes en ambos ríos. Las familias con mayor abundancia en orden decreciente fueron: Baetidae, Hydropsychidae, Elmidae, Leptohyphidae, Simuliidae, Chironomidae, Psephenidae, Leptophlebiidae y Philopotamidae. Estas nueve familias representaron el 87 % del total de individuos colectados en ambos ríos, probablemente debido a que la mayoría de estos grupos con excepción de las tres últimas son más tolerantes a condiciones cambiantes en sus hábitats. Las seis primeras familias también han sido encontradas como dominantes en el sur de Brasil (Goncalves & Menezes, 2011).

Los valores BMWP Col para los ríos Indio y Gatún fueron 186 y 248 respectivamente, lo que quiere decir que ambos ríos poseen aguas muy limpias y de buena calidad de acuerdo con la escala publicada por Roldán (2003).

Cuadro 1.- Abundancia, diversidad e indices biológicos de BMWP Col por rio.

Orden	Familias	rio Indio		rio Gatun		Total de individuos en ambos rios
		No. de individuos	BMWP Col	No. de individuos	BMWP Col	
Trichoptera	Hydropsychidae	137	7	617	7	754
	Philopotamidae	46	9	183	9	229
	Hydroptilidae	32	8	109	8	141
	Leptoceridae	3	8	16	8	19
	Glossosomatidae	2	7	16	7	18
	Ecnomidae	1		6		7
	Odontoceridae			5	10	5
	Hydrobiosidae			3	9	3
	Polycentropodidae			3	9	3
Diptera	Simulidae	109	7	370	7	479
	Chironomidae	84	1	328	1	412
	Psychodidae	5	2	3	2	8
	Tipulidae	4	3	30	3	34
	Culicidae			13	2	13
	Ceratopogonidae	2	5	4	5	6
	Empididae	1	4	4	4	5
Coleoptera	Elmidae	51	6	667	6	717
	Psephenidae	11	10	345	10	356
	Ptilodactylidae	8	10	69	10	77
	Staphylinidae			3	6	3
	Dryopidae			2	6	2
	Chrysomelidae			1	4	1
	Hydrophilidae	3	3			3
	Scirtidae	1	4			1
Odonata	Coenagrionidae	9	7	13	7	22
	Platystictidae	3	9	16	9	19
	Megapodagrionidae	2	6	10	6	12
	Gomphidae			6	9	6
	Libellulidae	2	5	2	5	4
	Polythoridae			1	10	1
	Calopterygidae	1	7			1
Ephemeroptera	Baetidae	465	7	508	7	973
	Leptohyphidae	149	7	552	7	701
	Leptophlebiidae	46	9	187	9	233
	Euthyplocidae	1	9	8	9	9
Hemiptera	Belostomatidae	9	4	67	4	76
	Mesoveliidae			1	5	1
	Corixidae	4	5			4
Lepidoptera	Crambidae	45	7	79	7	124
Collembola	Isotomidae	2				2
Plecoptera	Perlidae	6	10	46	10	52
Megaloptera	Corydalidae			21	6	21
Totales	**42**	**1244**	**186**	**4314**	**248**	**5,557**

El Cuadro 2 compara la abundancia por familia de las secciones baja y alta de los ríos Indio y Gatún con sus respectivos valores BMWP. En la sección baja de rio Indio se colectaron 849 individuos incluidos en 25 familias lo que representa el 68% del total de todos los individuos del rio. Aqui las familias con mayor abundancia fueron: Baetidae e Hydropsychidae. En la sección alta se colectaron solamente 401 individuos incluidos en 23 familias (32% del total de los individuos colectados en el rio); sin embargo, todas las familias estuvieron representadas por menos de 100 individuos. El total de individuos en

la sección baja de río Gatún fue de 3238, incluidos dentro de 35 familias (75% del total de individuos colectados en el río), mientras que en la sección alta fue de 1076 individuos incluidos en 29 familias. Al igual que en el río Indio, la sección baja del río Gatún exhibió la mayor abundancia de individuos por familia.

Las familias con mayor abundancia en la sección baja del río Gatún fueron: Hydropsychidae, Baetidae, Leptohyphidae, Elmidae, Simuliidae, Psepheninadae, Chironomidae, Philopotamidae, e Hydroptilidae. El resto de las familias estuvieron representadas por menos de 100 individuos. En la sección alta sólo se observaron cuatro familias con más de 100 individuos. Los valores BMWP encontrados para la sección alta del río Indio fueron menores de 150, lo que equivale a aguas no contaminadas mientras que la sección baja del río Indio así como la sección baja y alta del río Gatún fueron iguales a 150 lo que indica que las aguas son limpias. En ambos ríos la sección alta se encuentra dentro del Parque Nacional Chagres lo que pudo haber influido en estos resultados. Adicionalmente, la sección baja de ambos ríos exhibió una mayor abundancia de individuos por familia probablemente debido a que el sustrato es muy rocoso y la corriente menos fuerte. Esta mayor abundancia de individuos por familia en la sección baja del cauce ha sido reportado en otros ríos de Panamá (Guinard, *et al.*, 2013; Bernal & Castillo, 2012).

A pesar de que la parte baja del río está más cerca de los asentamientos humanos, ésta posee alguna vegetación riparia y cobertura boscosa. En este tipo de ambiente vive una mayor cantidad de familias que atrapan su alimento en las rocas las cuales utilizan para protegerse. Al parecer, el tipo de sustrato y la reducción de la velocidad de la corriente influyen grandemente en la disponibilidad de alimentos para los insectos. Adicionalmente existen aberturas en la vegetación que permiten la entrada del sol a las fuentes de agua favoreciendo el crecimiento del perifiton que sirve como alimento para los grupos de insectos generalistas lo que resulta en mayor abundancia de individuos (Towns, 1981; Ramírez & Pringle, 1998).

El índice de dominancia de Simpson (D'), es útil para localizar la presencia de grupos taxonómicos con valores altos de abundancia dentro de la comunidad, aunque no precisamente grupos dominantes ya que hay otros factores, además de la abundancia, que hacen a un grupo dominante (con alta influencia en el ecosistema), como puede ser su tamaño corporal o su papel ecológico. Se puede decir que en ninguno de los dos ríos hubo dominancia por parte de una o más familias pues los valores D' estuvieron muy cerca de 1 (Cuadro 3). El índice de Equidad (J'), fue de 0.6372 para río Indio y 0.7094 para el río Gatún, lo que indica que existe una distribución de individuos bastante equitativa (superior al 50%) entre las familias en ambos ríos. Los valores del índice de Shannon- Wiener (H') fueron de 2.2083 en río Indio y de 2.5615 para río Gatún correspondientes a una diversidad media (Margalef, 1998), lo que es respaldado por los índices de Simpson y de Equidad. De acuerdo con Wilhem & Dorris (1968) y Staub *et al.*, 1970), los valores H' encontrados en este estudio corresponden a una contaminación de moderada a ligera posiblemente de origen antrópico.

Cuadro 2. Número de individuos por familia en las secciones bajas y altas de los rios Indio y Gatún y los valores BMWP Col para cada sección.

Ordenes	Familias	No de individuos Rio Indio por sección				No de individuos Rio Gatún por sección			
		Baja	BMWP Col	Alta	BMWP Col	Baja	BMWP Col	Alta	BMWP Col
Trichoptera	Hydropsychidae	11	7	18	7	456	7	161	7
	Philopotamidae	9	9	21	9	147	9	36	9
	Hydroptilidae	25	8	11	8	106	8	3	8
	Leptoceridae	21	8	2	8	3	8	13	8
	Glossosomatidae	1	7	0		12	7	4	7
	Ecnomidae	2		1		1		5	
	Odontoceridae	0		0		0		5	10
	Hydrobiosecidae	0		0		3	9	0	
	Polycentropodidae	0		0		3	9	0	
		0							
Diptera	Simulidae	98	7	11	7	361	7	9	7
	Chironomidae	22	1	62	1	258	1	70	1
	Psychodidae	5	2	6	2	3	2	0	
	Tipulidae	0		4	3	11	3	19	3
	Ceratopogonidae	0		2	5	4	5	0	
	Empididae	1	4	0		4	4	0	
	Culicidae	0		0		7	2	6	2
Coleoptera	Elmidae	42	6	9	6	415	6	252	6
	Psephenidae	9	10	2	10	301	10	44	10
	Ptilodactylidae	0		8	10	1	10	68	10
	Hydrophilidae	0		3	3	0		0	
	Scirtidae	1	4	0		0		0	
	Staphylinidae	0		0		1	6	2	6
	Dryophidae	0		0		2	6	0	
	Chrysomelidae	0		0		1	4	0	
Odonata	Coenagrionidae	1	7	8	7	12	7	1	7
	Platystictidae	0		3	9	5	9	11	9
	Libellulidae	1	5	1	5	1	5	1	5
	Megapodagrionidae	0		2	6	4	6	6	6
	Calopterygidae	1	7	0		0		0	
	Gomphidae	0		0		2	9	4	9
	Polythoridae	0		0		0		1	10
Ephemeroptera	Baetidae	38	7	80	7	454	7	54	7
	Leptohyphidae	5	7	95	7	435	7	117	7
	Leptophlebiidae	54	9	16	9	74	9	113	9
	Euthyplocidae	30							
			9	0		1	9	7	9
		1							
Hemiptera	Belostomatidae	9	4	0		42	4	25	4
	Corixidae	3	5	1	5	0		0	
	Mesoveliidae	0		0		1	5	0	
Lepidoptera	Crambidae	10	7	35	7	78	7	1	7
Collembola	Isotomidae	2		0		0		0	
Plecoptera	Perlidae	6	10	0		18	10	28	10
Megaloptera	Corydalidae	0		0		11	6	10	6
Totales		849	150	401	141	3,238	223	1,076	199

Cuadro 3. - Índices de diversidad de insectos acuáticos en los Ríos Indio y Gatún.

Índices de Diversidad	Ríos	
	Río Indio	Río Gatún
Simpson (D´)	0.8161	0.9009
Shannon- Wiener (H´)	2.2083	2.5615
H´ Máxima	3.4656	3.6109
Equidad (J´)	0.6372	0.7094
Número de Familias	**32**	**37**
Número de Individuos	**1245**	**4314**

Cuadro 4. Índices de diversidad de insectos acuáticos encontrados en las secciones alta y baja de los ríos Indio y Gatún.

Índices de Diversidad	Río Indio		Río Gatún	
	Sección Baja	Sección Alta	Sección Baja	Sección Alta
Simpson (D´)	0.7527	0.8612	0.8946	0.8853
Shannon- Wiener (H´)	1.9401	2.3148	2.4458	2.5224
H´ Máxima	3.2187	3.0909	3.5551	3.3670
Equidad (J´)	0.6027	0.7489	0.6879	0.7491
Número de Familias	**25**	**22**	**35**	**29**
Número de Individuos	**850**	**395**	**3238**	**1076**

En el Cuadro 4 se observa que tampoco hay dominancia marcada por parte de ninguna de las familias de insectos acuáticos registradas cuando se comparan las secciones baja y alta de ambos ríos ya que los valores D´ estuvieron muy cerca de 1. Los valores de equidad, superiores al 50% indican que existe una distribución de individuos equitativa entre las familias en ambas secciones de los dos ríos aunque a simple vista las diferencias en números de individuos por familia parezcan considerablemente grandes. Los valores de Shannon-Wiener encontrados demuestran que existe una diversidad media en ambas secciones de los dos ríos lo que es respaldado por los índices de Simpson que indican que no hay predominio por parte de ninguna de las familias presentes. De igual manera los índices de Equidad indican que existe una distribución bastante homogénea del número de individuos entre las familias.

En nuestros sitios de estudio, las secciones bajas poseen la mayor cantidad de individuos tanto para río Indio como para río Gatún; sin embargo, no poseen mayor diversidad que las secciones altas por lo tanto la distribución es óptima y no hay predominio por parte de ninguna de las familias en dichas secciones.

Los valores del índice biológico EPT determinados, variaron de 12 para río Indio y 14 para el río Gatún lo que significa, de acuerdo con (Klemm *et al.*, 1990), que ambos ríos no han sido impactados aún. De acuerdo con los valores de ASPT obtenidos (Roldán, 2003; Álvarez *et al.*, 2006), que son ligeramente inferiores a 7 para los ríos Indio y Gatún (6.58 y 6.88, respectivamente), las aguas de ambos ríos están ligeramente contaminadas. Tal como se observa en el Cuadro No. 1, el efecto de esta ligera contaminación puede ser responsable por la pobre representación de algunas familias que sólo aparecen registradas con un individuo. De igual manera los valores ASPT para las secciones bajas y altas de cada río estudiado también indican una ligera contaminación

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la presión humana cada vez mayor, debido a la creciente población que requiere tierras para vivir y desarrollar actividades económicas, están degradando gradualmente la calidad del agua de los ríos Indio y Gatún lo cual se refleja en una diversidad media y una pobre representación de algunas familias de insectos acuáticos. De igual manera los valores ASPT para las secciones bajas y altas de cada río estudiado también indican una ligera contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con la colaboración de la Sociedad Mastozoológica de Panamá (SOMASPA).

REFERENCIAS

Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In IX Simpósio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería,.203-213p.

Álvarez-Arango, L.F., M.C. Arango-Jaramillo, & G. Roldán. 2006. Diversidad de los insectos acuáticos. BMWP/Col. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 182 pp.

Armitage, P.D., D. Moss, J.F.Wright, & M.T. Furse. 1983. The performance of new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. Water Res. 17: 333-347.

Bernal, V.J.A. & H. M. Castillo. 2012. Diversidad, distribución de los insectos acuáticos y calidad del agua de la subcuenca alta y media del río Mula, Chiriquí, Panamá. Tecnociencia 14(1): 35-52.

Buss, D.F., D.F. Baptista, & J.L. Nessimian. 2003. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. Cad. Saúde Pública 19: 465-473. http://dx.doi. org/10.1590/S0102 311X2003000200013.

Cambra, T. R.A & A. Santos. 2014. Monitoreo de insectos acuáticos y calidad del agua en el río Pirre, Parque Nacional Darién, República de Panamá. Tecnociencia, 16(2): 65-76.

Candanedo, I., E. Ponce & L. Riquelme. Compiladores. 2003. Plan de Conservación de Área para el Alto Chagres. The Nature Conservancy (TNC) y Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON). Panamá.

Chesters, R.K. 1980. Biological Monitoring Working Party. The 1978 National Testing Exetcise. Technical mernorandum, 19. Depc ofche Envir, Water Daca Unit. 37 pp.

Czerniawska-Kusza, I. 2005. Comparing modifield biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water-quality assessment. Limnologica 35: 169-176.

Edwards, R. W., B.D. Hughes, & M.W. Read. 1975. Biological survey in the detection and assessment of pollution. In: Chadwick, M. J., Goodman, G. T (eds.) The ecology of resource degradation and renewal. The 15th Symposiumof the British Ecological Society, 10-12 July 1973. Wiley, New York, p. 139-156.

Ellis, D. 1985. Taxonomic sufficiency in pollution assessment. Mar Pollut. Bull.16: 45

Fenoglio S., G. Badino, & F. Bona. 2002. Benthic macroinvertebrate communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua Rev. Biol. Trop. 50(3/4): 1125-1131.

Flowers, R. W. & C. De La Rosa. 2008. Ephemeroptera, p. 63-93. En: Springer, M., Ramirez, A., Hanson, P. 2010 (eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos, métodos de recolección, biomonitoreo acuático Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera. Rev. Biol. Trop. 58 (4): 1-240.

Gonçalves, F.B. & M.S. Menezes. 2011. A comparative analysis of biotic indices that use macroinvertebrates to assess water quality in a coastal river of Paraná state, southern Brazil. Biota Neotrop. 11(4): 27-36.

Guinard, J. del C.,T. Rios & J.A. Bernal. 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de las cuencas alta y baja del rio Gariché, Provincia de Chiriqui, Panama. Revista Gestión y Ambiente 16(2): 61-70.

Gutiérrez –Fonseca, P. E. 2010. Guia ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas

(eds.). Formulación de una guia metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto UES –OEA. Ed. Universitaria. 64 pp.

Gutiérrez –Fonseca, P. E. 2010. Plecoptera. Rev. Biol. Trop., 58 (4): 139-148.

Hellawell, J. M. 1977. Change in natural and managed ecosystems. detection, measurement and assessment. Proc. R. Soc. Lond. B 197: 31-57.

Hellawel, J.M.1978. Biological surveillance of rivers. Water Research Center. Stevenage.322 pág. Citado por: Naranjo J., González D. El BMWP, un Índice Biótico promisorio. En: Bioriente 1 (1): 9- 12, 2007, p. 9-12.

Hellawell, J. M. 1989. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Science Publishers, London.

Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. Great Lakes Entomologist 20: 31-39.

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. North Am. Benthological Soc. 7: 65-68. http://dx.doi.org/10.2307/1467832.

Junqueira, V. M. & Campos, S. C. M. 1998. Adaptation of the"BMWP" method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). Acta Limnol. Bras. 10(2): 125-135.

Karr, J.R. & E.W. Chu. 1999. Restoring Life in Running Waters - Better Biological Monitoring. Island Press, Covelo, CA.

Kingston, P F & M.J. Riddle. 1989. Cost effectiveness of benthic faunal monitoring. Mar. Pollut. Bull. 20: 490496.

Klemm, D.J., P.A.Lewis, F. Fulk & J.M. Lazorchack. 1990. Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA/600/4-90/030. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268.

Krebs, Ch. 1985. Ecologia: estudio de la distribución y abundancia. Segunda edición. Ed. Harla. México. 753 pp.

Margalef, R.. 1998. Ecologia. Editorial Omega. 968p.

McIntvre, A.D., M.J. Elliott, & D.V. Ellis. 1984. Introduction design of sampling programmes. In: Holme, N. A., McIntyre, A. D. (eds.) Methods for the study of marine benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1-26 p.

Metcalfe, J. L. 1989. Biological water quality assessment offrunning waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. Environ. Pollut. 60(1-2): 101-139.

Miserendino, M. & L. Pizzolón. L. 1999. Rapid assessment of river water quality using macroinvertebrates: a family level biotic index for the Patagonic Andean zone. En: Acta Limnol. Bras. 1(2): 137-148.

Posada, J.A., G.Roldán & J.J.Ramirez. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de agua de la cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Rev. Biol. Trop. 48 (1): 59-70.

Pinilla, G.A. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Centro de Investigaciones Científicas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá.

Ramírez, A. & C. M. Pringle. 1998. Use of both and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrates communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. Freshwater Biol. 39: 359-373.

Roldán, G. 1988. Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo para la Protección del medio Ambiente. Editorial Presencia Ltda. Bogotá, Colombia. 217 pág.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 164 p.

Rosenberg, D.M. & V.H. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.

Sánchez A., R., A. Cornejo, L. Boyero, & A. Santos. 2010. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Capira, Panamá, Tecnociencia 12 (2): 57-70.

Sermeño Chicas, J. M. Sermeño Chicas, J.M., L. Serrano Cervantes, M. Springer, M. R. Paniagua Cienfuegos, D. Pérez, A.W. Rivas Flores, R. A. Menjivar Rosa, D. L. Bonilla de Torres, F. A. Carranza Estrada, J. M. Flores Tensos, C. Gonzales, P. E. Gutierres Fonseca, M. A. Hernández Martinez, A. J. Monterrosa Urias & A. Y. Arias de Linares, 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 guia metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los rios de El Salvador utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)- Organización de los Estados Americanos (OEA). SINAI Editores e Impresores,S.A. de C.V. San Salvador, El Salvador. 43p.

Springer, M. 2006. Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica.En: Rev. Biol. Trop.) 54 (Suppl. 1): 273-286.

Staub, R., J. W. Appling, A. M. Hofstetter & J. Hass. 1970. The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby County on primary planktonic producers. Bioscience 20: 905-912.

Towns, D. 1981. Effects of artificial shading on periphyton and invertebrates in a New Zealand stream. New Zeal. J. Mar. Fresh 15: 185-192.

Wilhem, J.L. & T.C. Dorris. 1968. Biological parameters of water quality. Bioscience. 18:477-481.

Zuñiga De Cardoso, M del C. A.M. Rojas de Hernández & S. Mosquera. 1997. Biological aspects of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South America) pp 261-268. En: P. Landolt y M. Sartori (eds) Ephemeroptera and Plecoptera; Biology-Ecology-Systematics. Mauron-Tinguely and Lachat S.A. Fribourg, Switzerland.

Recibido agosto de 2015, aceptado junio de 2016.