

Macroinvertebrados dulceacuícolas de la Isla del Coco, Costa Rica: especies y comparación con otras islas del Pacífico Tropical Oriental

Pablo E. Gutiérrez-Fonseca¹, Alonso Ramírez², Gerardo Umaña³ & Monika Springer³

1. Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico-Río Piedras, San Juan, Puerto Rico, 00931-3360; gutifp@gmail.com
2. Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico-Río Piedras, San Juan, Puerto Rico, 00931-3360; aramirez@ramirezlab.net
3. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) y Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 11501-2060; gauv301@gmail.com, monika.springer@ucr.ac.cr

Recibido 16-IV-2012. Corregido 22-VIII-2012. Aceptado 24-IX-2012.

Abstract: Freshwater macroinvertebrates from Cocos Island, Costa Rica: species and comparison with other islands of the Eastern Tropical Pacific. Cocos Island is an oceanic island in the Eastern Pacific, at 496km from Cabo Blanco, Costa Rica. This 24km² island is surrounded by a protected marine area of 9640km². It was declared National Park in 1978 and a World Heritage by UNESCO in 1997. Freshwater macroinvertebrate fauna was collected in 20 sites covering three rivers (Genio, Chatam and Sucio) and two creeks (Minuto and an unnamed creek behind the park rangers' house). Tank bromeliads or phytotelmata were also examined for aquatic macroinvertebrates. Physicochemical parameters were determined in 13 study sites. Additionally, a comparison with other islands in the Eastern Tropical Pacific was conducted to determine the most important factors controlling the diversity in Tropical Pacific islands. A total of 455 individuals were collected belonging to 20 taxa (mostly identified to genus level) from 15 families of aquatic insects. Other macroinvertebrates such as Palaemonid shrimps, Hidrachnida and Oligochaeta were also collected. The family Staphylinidae (Coleoptera) was the most abundant, followed by Chironomidae (Diptera). Diptera was the order of insects with the highest taxonomic richness. A relationship between distance and the number of families was observed supporting the premises of the *Theory of island Biogeography*. This relationship was improved by correcting area by island elevation, indicating that mountainous islands had the richest faunas, potentially due to high cloud interception that feeds freshwater environments favoring the establishment of aquatic fauna. Physicochemical variables were similar in all sites, possibly due to the geology and the absence of significant sources of pollution on the island. Rev. Biol. Trop. 61 (2): 657-668. Epub 2013 June 01.

Key words: aquatic insects, oceanic island, colonization, environmental variables, Eastern Tropical Pacific islands.

El estudio de islas ha contribuido de manera significativa al desarrollo de teorías evolutivas (Darwin 1859), procesos de colonización, biogeografía (MacArthur & Wilson 1967) y al entendimiento de muchos procesos ecológicos (Smith *et al.* 2003). La diversidad de organismos en islas no es excepcionalmente alta; sin embargo, la relativa simplicidad de la biota permite interacciones más complejas entre poblaciones comparado con el contexto continental (Simberloff 1974). Por otro lado, las

islas poseen un alto porcentaje de endemismo que va aumentando con el tiempo y aislamiento geográfico. En este sentido, podemos decir que las islas son puntos calientes de biodiversidad y un modelo perfecto para el estudio de interacciones bióticas.

Costa Rica cuenta con poco más de cien islas, en su mayoría continentales. La principal isla oceánica es la Isla del Coco, ubicada en el Pacífico Tropical Oriental. Es la más antigua y lejana, y el único afloramiento de la cordillera

volcánica submarina. Posee una topografía empinada; con una amplia variedad de hábitats disponibles para el establecimiento de una alta diversidad de organismos (Weston 1992, Montoya 2007).

La isla posee un amplio inventario de organismos marinos; uno de los más completos del país (Cortés 2008, 2012). Sin embargo, las investigaciones en insectos acuáticos son escasas, algunas de ellas relacionadas con los adultos terrestres, especialmente del orden Diptera, como por ejemplo los trabajos de Hogue (1975), Gómez (1977), Hashimoto (1979), Byers (1981) y Woodley (1991). Otros autores, como Hertlein (1963) y Hogue & Miller (1981) mencionan en sus trabajos algunas especies de insectos acuáticos, específicamente de los órdenes Odonata, Trichoptera, Coleoptera y Diptera. También, se han realizado otros estudios en los ríos y quebradas de la isla por parte de varios investigadores e instituciones. Sin embargo, los resultados no han sido publicados en artículos científicos o no incluyen informes de insectos acuáticos. Recientemente, el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) en su esfuerzo por inventariar la biodiversidad del país realizó recolectas de insectos en la isla, que incluyen algunos adultos de macroinvertebrados acuáticos de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera y Diptera.

En este trabajo presentamos: 1) el primer listado de macroinvertebrados bentónicos de la Isla del Coco, 2) un análisis comparativo con otras islas en el Pacífico Tropical Oriental, 3) hipótesis de ¿cómo los organismos recolectados colonizaron la isla? y, además de determinar las principales amenazas del sistema acuático en la isla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: La Isla del Coco es una isla oceánica localizada aproximadamente a unos 496km de la costa Pacífica de Costa Rica; el área terrestre comprende aproximadamente 24km² y el área marina protegida es de 9640km². El punto de mayor elevación es el Cerro Iglesias con una altitud de 575.5m.s.n.m.

(Weston 1992, Montoya 2007). La isla está cubierta por bosque tropical lluvioso. Su precipitación promedio anual varía entre 4500 a 6000mm, con una baja en la precipitación entre enero y marzo, y un aumento entre abril y diciembre (Alfaro 2008). Herrera (1985) sugiere que la alta precipitación se debe a que la isla está fuertemente influenciada por el movimiento norte-sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT). La isla está drenada por tres cuencas principales: río Genio que corre hacia el sur y desemboca en la bahía Wafer; río Pittier que corre de norte a sur y desemboca en bahía Iglesias, y por último la cuenca del río Lièvre que va de oeste a este y desemboca en la bahía Chatham. Las áreas de drenaje de estas cuencas son muy reducidas, de aproximadamente 5km la más grande (Montoya 1990). La red hidrográfica está formada por ríos y quebradas permanentes, lo que la diferencia de otras islas oceánicas ubicadas en el Pacífico Tropical Oriental, tal como las del archipiélago de Galápagos, las cuales son más áridas. La temperatura promedio anual a nivel de la costa es de 25.5°C, con una temperatura mínima de 23.1°C y una máxima de 27.6°C. Históricamente, la Isla del Coco fue declarada Parque Nacional en 1978, y en 1997 Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO. El nombre más antiguo de la isla citado en la literatura es Isla de Cocos.

Se realizó la recolecta de macroinvertebrados acuáticos entre el 22 de mayo y el 30 junio 2008. Durante este tiempo se estudiaron 20 sitios de muestreo en los siguientes ríos y quebradas: Chatham, Genio, Sucio, Minuto y una quebrada sin nombre detrás de la estación de Guardaparques (Fig. 1). El cuadro 1 presenta la localización de los sitios estudiados, cabe destacar que estos puntos de muestreo fueron seleccionados debido a que el acceso fue rápido y relativamente fácil; otros ríos de la isla fueron imposibles de acceder ya que no existen senderos o las condiciones climáticas no lo permitieron.

Se examinaron todos los microhábitats presentes en los ríos: hojarasca, rocas, troncos, raíces sumergidas, arena, entre otros. Los

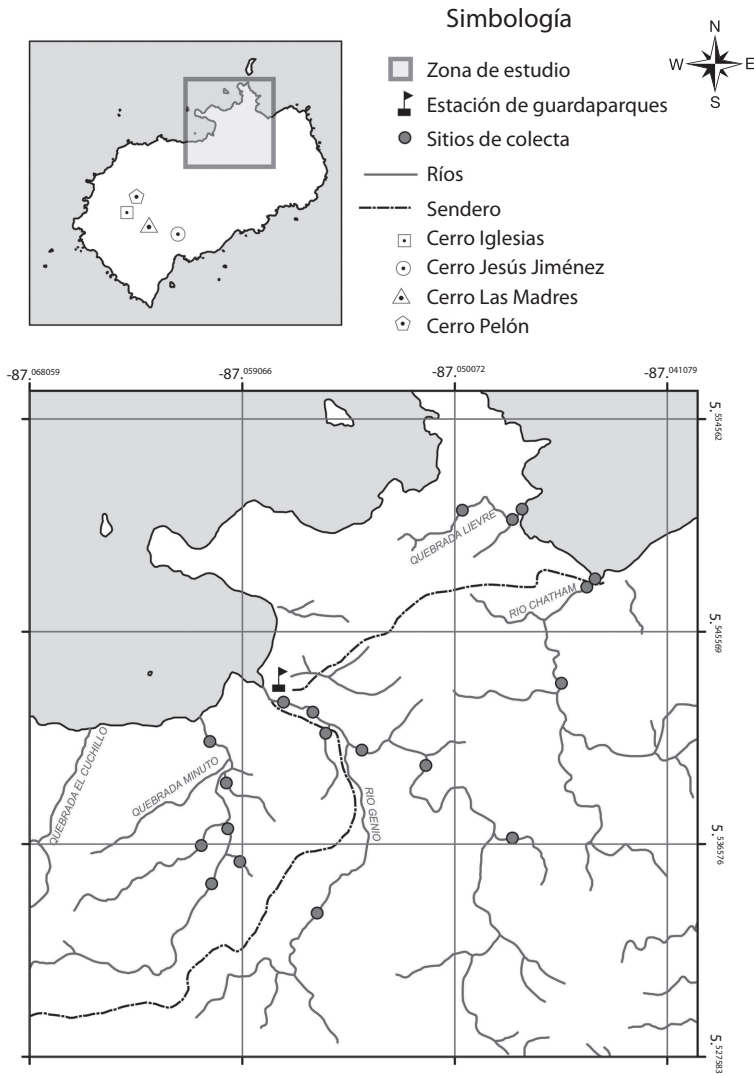


Fig. 1. Isla del Coco y sitios de recolecta. / **Fig. 1.** Cocos Island and study sites.

macroinvertebrados acuáticos fueron recolectados utilizando una red tipo D con un poro de 500µm y fueron preservados en etanol al 70%; el esfuerzo total de muestreo en cada sitio fue de aproximadamente 1 hora. Adicionalmente, se recolectó la fauna asociada a bromelias tanque (ambiente fitotelmata). Tres bromelias fueron examinadas en los sitios Río Genio (Represa) y Río Chatham Punto 2 (Cuadro 1); las bromelias fueron recolectadas del suelo para evitar alteraciones al bosque de la isla.

Para la recolecta de los macroinvertebrados se procedió a deshojar cada planta, las hojas fueron lavadas con agua destilada; los macroinvertebrados fueron recolectados manualmente y preservados en etanol al 70%. Este método tiene la ventaja de recolectar todos los individuos presentes en las bromelias. Medias morfométricas y fisicoquímicas del agua de las bromelias no fueron consideradas debido a que se desconoce el tiempo de descomposición en el suelo de las bromelias y esto podría no

CUADRO 1
Parámetros geográficos de los sitios de estudio, Isla del Coco

TABLE 1
Geographical parameters of each study site, Cocos Island

Sitio	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.
Río Genio Desembocadura	5° 32' 33.868" N	-87° 3' 24.321" W	12
Río Genio Punto 1 (Puente)	5° 32' 30.310" N	-87° 3' 17.352" W	13
Río Genio Punto 2	5° 32' 32.762" N	-87° 3' 19.749" W	19
Río Genio Punto 3	5° 32' 26.462" N	-87° 3' 12.514" W	32
Río Genio Punto 4	5° 32' 24.551" N	-87° 3' 02.365" W	63
Río Genio Punto 5	5° 32' 11.500" N	-87° 2' 49.679" W	134
Río Genio (Represa)	5° 32' 18.600" N	-87° 3' 17.974" W	136
Quebrada Minuto Desembocadura	5° 32' 29.101" N	-87° 3' 34.952" W	0
Quebrada Minuto (Bifurcación 1)	5° 32' 9.8016" N	-87° 3' 31.449" W	133
Quebrada Minuto (Bifurcación 2)	5° 32' 15.223" N	-87° 3' 31.287" W	145
Quebrada Minuto Arriba	5° 32' 30.181" N	-87° 3' 36.158" W	154
Quebrada Minuto Punto 4 (Catarata 1)	5° 32' 5.9100" N	-87° 3' 32.461" W	154
Quebrada Minuto Punto 5 (Catarata 2)	5° 32' 12.159" N	87° 3' 35.528" W	133
Río Chatham Desembocadura	5° 32' 51.342" N	-87° 2' 35.462" W	0
Río Chatham Punto 1	5° 32' 51.342" N	-87° 2' 35.462" W	40
Río Chatham Punto 2	5° 32' 37.388" N	-87° 2' 41.183" W	90
Desembocadura Río Sucio	5° 33' 13.572" N	-87° 2' 46.341" W	0
Río Sucio Punto 1	5° 32' 12.159" N	-87° 3' 35.528" W	16
Río Sucio Catarata	5° 33' 16.164" N	-87° 2' 55.374" W	93
Queb sin nombre (parte posterior de la Casa de Guarda Parques)	5° 32' 36.531" N	-87° 3' 24.408" W	9

evidenciar el estado natural de las plantas. Los organismos recolectados fueron identificados al menor nivel taxonómico posible (géneros y en algunos casos familia) utilizando las claves taxonómicas de Merritt *et al.* (2008) y Springer *et al.* (2010). El material se encuentra depositado en la Colección de Entomología Acuática del Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica (<http://museo.biologia.ucr.ac.cr/>).

Adicionalmente, se realizó una recopilación de la literatura científica sobre los inventarios de macroinvertebrados acuáticos realizados en otras islas del Pacífico Tropical Oriental (Cuadro 3). En esta revisión se descartaron los registros y depósitos en museos debido a que esto puede generar una enorme cantidad de datos de registros aislados y el potencial conflicto en familias que tienen géneros y especies acuáticas y terrestres. Para el análisis del archipiélago de Galápagos, se

evaluó el área y la altitud de la isla Isabela, con lo cual se evitó sobreestimar estos parámetros al sumar todas las islas presentes en el archipiélago. Todos los registros de insectos acuáticos para el archipiélago de Galápagos también se encuentran en la isla Isabela (Linsley & Usinger 1966, Peck 1992).

La relación entre precipitación, altitud máxima, distancia a la costa, área emergida y la corrección entre área por elevación y la cantidad de familias fue evaluada aplicando un análisis de regresión múltiple por pasos, la cual fue usada con una probabilidad de entrar al modelo de 0.25 y para salir de 0.10. La normalidad de todas las variables fue probada y transformada a $\log(\log_{10}[x+1])$ cuando fue necesario. La regresión múltiple por pasos se realizó utilizando el paquete R (R Development Core Team, 2011, Versión 2.13.1).

Durante el muestreo se hicieron mediciones de los parámetros fisicoquímicos en 13 sitios de estudio (Cuadro 4). Los parámetros analizados incluyeron: oxígeno disuelto, dióxido de carbono, dureza, calcio y pH. Todas las variables fueron analizadas *in situ* mediante un Kit de campo Water Pollution, Model AM-22 (LaMotte® Co., Maryland, USA). La temperatura fue medida utilizando un termómetro de mercurio (escala 0-50°C). Las muestras de agua para la determinación de la conductividad eléctrica fueron preservadas y analizadas posteriormente en el laboratorio de limnología del CIMAR.

RESULTADOS

Se recolectó un total de 455 individuos de 20 táxones (en su mayoría géneros), de 15 familias representadas en cinco órdenes de insectos acuáticos. Asimismo, se encontraron ácaros acuáticos (Hydrachnidia), camarones del género *Macrobrachium* (Palaemonidae) y anélidos. Además, se recolectaron dos libélulas adultas utilizando una red entomológica; ninguna de estas se encontró en estadio de ninfa (Cuadro 2).

El orden Diptera fue el más diverso en los ríos y quebradas, con ocho táxones en seis

CUADRO 2

Diversidad taxonómica y abundancia de macroinvertebrados acuáticos de la Isla del Coco

TABLE 2

Taxonomic diversity and abundance of aquatic macroinvertebrates of the Cocos Island

Orden o Grupo	Familia: Género	Estadio	No. Ind
Odonata	Coenagrionidae: <i>Argia</i>	N	3
	Coenagrionidae: Género 1	N	1
	Coenagrionidae: Género 2	N	7
	Libellulidae: <i>Tramea calverti</i>	A	1
	Aeshnidae: <i>Triacanthagyna caribbea</i>	A	2
Coleoptera	Staphylinidae: Varios Géneros	A	213
	Scirtidae*: Género Indeterminado	L	37
	Dytiscidae: <i>Copelatus</i>	A	4
Trichoptera	Hydroptilidae: <i>Oxyethira</i>	L	6
	Leptoceridae: <i>Oecetis</i>	L	2
Lepidoptera	Crambidae: <i>Petrophila</i>	L	10
	Crambidae: <i>Neargyrectis</i>	L	24
Diptera	Chironomidae: Chironomini	L	54
	Chironomidae: Tanypodinae	L	22
	Chironomidae: Orthocladiinae	L	10
	Ceratopogonidae: <i>Atrichopogon</i>	L	31
	Tipulidae: <i>Limonia</i>	L	1
	Empididae: <i>Hemerodromia</i>	L	2
	Culicidae: <i>Culex</i> *	L	5
	Psychodidae: <i>Clognia</i> *	L	10
Hydrachnidia	Familia Indeterminada		1
Oligochaeta	Familia Indeterminada		5
Decapoda	Palaemonidae: <i>Macrobrachium</i>		4
	Total Táxones		23
	Total de Individuos		455

A: Adulto, L: Larva, N: Ninfa. *recolectados únicamente en bromelias.

familias. El segundo más diverso fue Odonata con cinco táxones. Coleoptera con tres táxones, Trichoptera y Lepidoptera con dos cada una. La familia más abundante fue Staphylinidae (Coleoptera), la cual representa más del 47% de la abundancia de insectos acuáticos reportados en este trabajo. La familia Chironomidae (Diptera) fue la segunda más abundante con el 19% de todos los individuos reportados.

En los ambientes de fitotelmatas, el orden más abundante fue Diptera. Algunos táxones exclusivos de estos ambientes incluyen *Clognia* (Psychodidae: Diptera), *Culex* (Culicidae: Diptera) y Scirtidae (Coleoptera). Los quironómidos fueron recolectados tanto en ríos como en bromelias y fueron, junto con Scirtidae, los más abundantes, con 40 y 39%, respectivamente.

El análisis comparativo entre las islas del Pacífico Oriental muestra una amplia variedad en el número de órdenes y familias reportadas para cada una de las islas (Cuadro 3), lo que supone diferencias entre una isla y otra en disponibilidad de hábitats y diversidad. De acuerdo al modelo de regresión múltiple, las variables relacionadas al número de familias fueron la distancia y el área por elevación (modelo: $r^2=0.978$, $p<0.01$). Graficando estas relaciones por separado, la relación entre el número de familias y la distancia mostró que islas remotas poseen menor cantidad de familias (Fig. 2A). Por otro lado, la gráfica de la relación entre el número de familias y el área por elevación enseña que islas grandes y de mayor elevación albergan mayor cantidad de familias (Fig. 2B).

En términos generales, las variables ambientales indican poca diferencia entre los sitios estudiados (Cuadro 4). El oxígeno disuelto varió entre 6.9 y 8.2mg/L, valores altos probablemente favorecidos por la fuerte turbulencia que presentan los ríos de la isla. La temperatura fue estable variando entre 24 y 26°C. Los valores de pH variaron entre 6 y 7. La dureza, el calcio y el dióxido de carbono variables ambientales muy relacionadas entre sí, fueron similares entre los sitio estudiados.

CUADRO 3
Factores físicos e investigaciones de insectos acuáticos en islas del Pacífico Tropical Oriental
TABLE 3
Physical factors and studies concerning aquatic insects in the Eastern Tropical Pacific Islands

Isla	Distancia a la costa (km)	Elevación (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)	Área (km ²)	Área x Elevación (km ³)	Origen de la isla	Órdenes	Familias	Géneros	Fuente
Isla del Caño (Costa Rica)	17	110	3 800	3.2	352	Continental	9	19	23	Springer (2004)
Isla Coiba (Panamá)	22	450	3 500	503.14	226 413	Continental	7	44	5	Boyero & Bailey (2001), Boyero & DeLope (2002)
Isla Gorgona (Colombia)	35	330	6 778	26	8 580	Continental	10	29	-	Gómez-Aguirre <i>et al.</i> (2009) Longo-Sánchez (2011)
Islas Malpelo (Colombia)	365	360	4 000	1.2	432	Océanica	2	5	6	Wolda (1975), Molano-Rendón <i>et al.</i> (2008), Bermúdez & López-Victoria (2009)
Isla del Coco (Costa Rica)	496	575.5	6 000	24	13 812	Océanica	5	15	20**	Descrito aquí
Islas Galápagos (Ecuador)	972	1 707*	3 200	4 588*	7 831 716	Océanica	3	11	24	Linsley & Usinger (1966), Peck (1992)

* Isla Isabela, ** Incluyendo subfamilias y tribus.

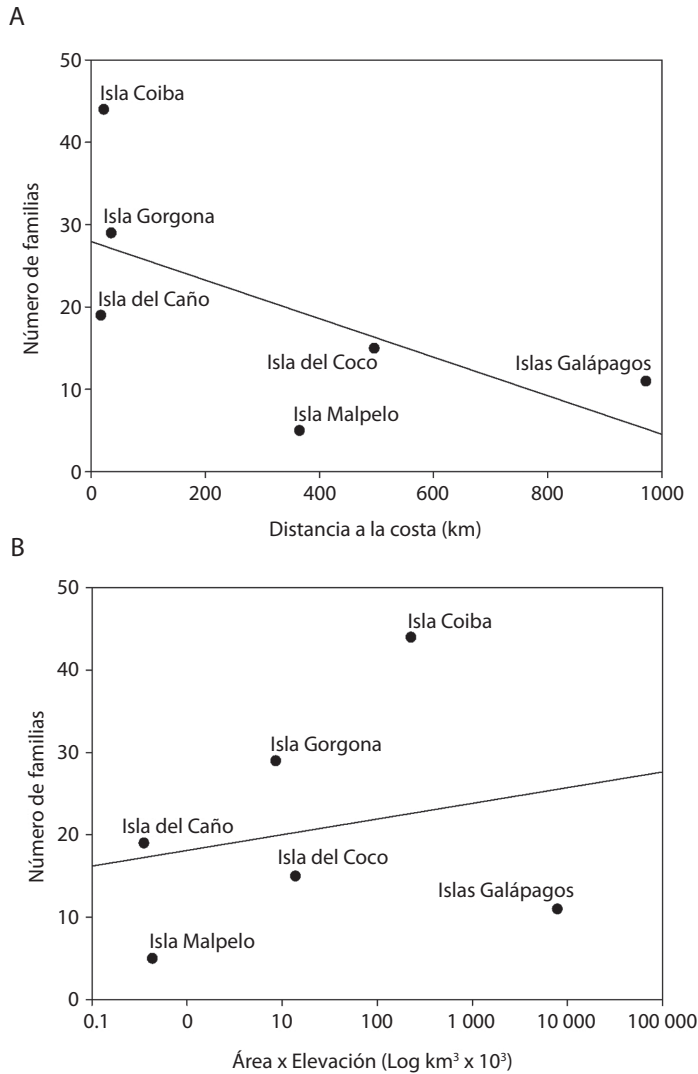


Fig. 2. Relación entre el número de familias y la distancia de la isla a la costa (A) y el área por elevación (B).
Fig. 2. Relationship between the number of families and distance of island to the coast (A) and area by elevation (B).

La conductividad eléctrica varió de 16 hasta 47 μ S/cm.

DISCUSIÓN

Los insectos acuáticos en las islas oceánicas han sido muy poco estudiados. Además, esta fauna es muy vulnerable debido al alto endemismo y al hecho de que aún no comprendemos la mayoría de los procesos ecológicos

en los que están involucradas. Las actividades humanas presentan una creciente amenaza debido a la fragmentación del hábitat, la contaminación y la introducción de especies exóticas las cuales pueden desplazar a las nativas o competir con ellas por los recursos.

La llegada de especies colonizadoras son parte de procesos naturales que ocurren en muchos hábitats, incluyendo las islas oceánicas, tal y como fue propuesto por MacArthur

CUADRO 4
Valores fisicoquímicos en 13 sitios de muestreo, Isla del Coco

TABLE 4
Physicochemical values in 13 sampling sites, Cocos Island

Sitio	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	CO ₂ (ppm)	Dureza (ppm)	Calcio (ppm)	Conductividad (μS/cm)
Genio Desembocadura	7.9	26	6.5	8	4	0	28
Genio Punto 2	7.9	26	7	5	4	0	26
Genio Punto 3	7.6	26	6.5	6	4	0	24
Genio Punto 4	7.6	26	6.5	8	4	0	22
Genio Punto 5	8.2	25	7	7	4	4	24
Quebrada Minuto (Bifurcación 1)	6.9	26	7	7	4	-	32
Quebrada Minuto (Bifurcación 2)	7.8	26	7	6	4	-	16
Quebrada Minuto Arriba	7.6	26	6	6	4	-	32
Río Chatham	7.4	26	6.5	5	4	0	20
Río Chatham Punto 2	7.8	26	6	5	4	0	20
Río Sucio Desembocadura	7.2	24	7	4	8	4	32
Río Sucio arriba	7.6	25	7	8	4	4	47
Queb. sin nombre (parte posterior de Casa de Guarda Parques)	7.4	26	6.5	8	8	4	36

& Wilson (1967). Sin embargo, las actividades humanas generalmente aceleran la introducción de especies y alteran el equilibrio natural, como ha sucedido con la introducción de cerdos, venados, ratas y gatos a la Isla del Coco. Con respecto a los ríos, la flora introducida puede estar cambiando el paisaje de los bosques ribereños, impactando la disponibilidad de luz y la entrada de hojarasca a los ríos, escenarios que aun no han sido probados.

Insectos acuáticos de la Isla del Coco: Debido a la lejanía y al alto costo económico que conlleva una expedición, los insectos acuáticos de la Isla del Coco son en su mayor parte desconocidos. Hertlein (1963) fue uno de los primeros en estudiar la entomofauna de la isla. En este trabajo el autor reportó 41 especies de insectos, arácnidos y miriapodos; más adelante Hogue & Miller (1981) realizaron uno de los inventarios más completos de los artrópodos de la isla, en el cual los autores reportaron casi 400 especies de artrópodos. En este mismo trabajo

los autores estiman que podría haber un total de 800 especies.

Recientemente, el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) en su esfuerzo por describir la biodiversidad de Costa Rica, recolectó varios adultos de insectos que son reportados en este estudio. Además, la institución cuenta con dos registros adicionales de especies acuáticas no recolectadas en este trabajo: *Cyphomyia whiteheadi* (Stratiomyidae) y *Condylostylus graenicheri* (Dolichopodidae).

En este trabajo, reportamos por primera vez los géneros *Clognia* (Diptera: Psychodidae) y *Oxyethira* (Trichoptera: Hydroptilidae). Asimismo, reportamos varios géneros y especies las cuales no fueron identificadas con anterioridad, o si fueron reportados, fueron identificadas a niveles taxonómicos altos, como por ejemplo familia.

Por último, debido a que desconocemos la diversidad de insectos que pueden estar presentes en la isla y a que este es uno de los primeros esfuerzos de muestreo, no podemos

determinar la calidad ambiental del agua de los ríos de la Isla del Coco, este trabajo puede ser tomado como un estudio de referencia. Por otro lado, debido al nivel taxonómico en que se encuentra el conocimiento de las ninfas acuáticas de Costa Rica, es poco probable determinar si alguna de las ninfas recolectadas es endémica para la isla. Sin embargo, observamos diferencias morfológicas importantes en algunos insectos acuáticos recolectados en la isla en comparación con los presentes en la parte continental, y no descartamos la posibilidad de estar frente a alguna especie nueva para la ciencia la cual podría ser endémica en la isla.

Entomofauna acuática de la Isla del Coco comparado con otras islas del Pacífico Tropical Oriental: El Pacífico Tropical Oriental posee numerosas islas, que varían ampliamente en su origen, topografía, clima, tamaño y distancia a la costa. Estos factores interactúan junto a los patrones en la tasa de colonización y la tasa de extinción promoviendo una biodiversidad particular en cada una de las islas.

Congruentemente con la *Teoría de Biogeografía de Islas* (MacArthur & Wilson 1967), observamos que a mayor distancia de la costa la diversidad de familias de insectos acuáticos decrece, posiblemente debido a que muy pocos insectos acuáticos podrían atravesar el océano abierto y colonizar sitios remotos. Por otro lado y congruente con lo observado por Bass (2003) en islas del Caribe; cuando se consideró área y elevación juntos, observamos una clara relación entre estos factores y el número de familias. Es posible que islas con alta elevación tiendan a experimentar más lluvia lo que resulta en una mayor diversidad de ambientes de agua dulce favoreciendo el establecimiento de insectos acuáticos. Es importante resaltar que cuando se analizó el área dentro del modelo de regresión múltiple como un factor aislado, este fue relacionado al número de familias (modelo: $r^2=0.982$, $p<0.05$). Sin embargo, consideramos importante realizar la corrección por elevación para poder incluir el aspecto tridimensional de las islas.

Estrategias de dispersión: Diversas teorías han sido propuestas para determinar los procesos de dispersión y colonización en islas. Por ejemplo, algunos autores sugieren que muchos adultos de insectos acuáticos pueden volar largas distancias como una forma de dispersión activa (Williams 1958, Service 1997, Bass 2003, Wikelski *et al.* 2006). Recientemente, Figuerola & Green (2002) realizaron una recopilación de información sobre la dispersión pasiva la cual es facilitada por otros organismos. En ese trabajo los autores determinaron la importancia que pueden tener las aves transportando organismos acuáticos a través de los cuerpos de agua. Green & Sánchez (2006) encontraron larvas vivas de *Chironomus salinarius* (Diptera: Chironomidae) en las excretas de aves acuáticas *Limosa limosa* (Scolopaciidae), lo que demuestra una importante forma de dispersión pasiva interna por aves migratorias. Peck & Kukulova-Peck (1990) encontraron un gran número de insectos y otros artrópodos transportados por las corrientes marinas en la superficie. Algunos grupos con representantes acuáticos fueron estafilínidos, quironómidos, tipúlidos y ceratopogónidos. Finalmente, algunos autores han sugerido la importancia que tienen las corrientes aéreas en el transporte de insectos (Visher 1925, Darlington 1938, Holzapfel & Harrell 1968, Peck 1994). De acuerdo a las teorías anteriores, es posible que algunos de los insectos de la Isla del Coco hayan podido viajar por sus propios medios. Dijkstra (2007) reportó dispersiones transoceánicas de libélulas *Hemicordulina* en islas del océano Índico; es probable que las libélulas *T. caribbea* y *T. calverti* hayan podido realizar largos vuelos hasta la isla. Desde el punto de vista anatómico alas grandes y músculos fuertes pueden favorecer la dispersión a través del Pacífico hasta la isla.

De la misma manera en que algunos organismos parecerían estar adaptados para dispersarse largas distancias; otros por el contrario, sus características hacen pensar que han llegado a la isla por otros medios. Los tricópteros no son buenos voladores y no son capaces de

atravesar grandes distancias. El alto endemismo en islas del Caribe, de al menos el 79% (Flint 1978), sugiere que estos insectos no suelen dispersarse y más bien la llegada a las islas fueron eventos aislados. Es probable que insectos más pequeños sean transportados por el viento, más que por sus propios medios. Holzapfel & Harrell (1968) reportaron varios individuos de trichópteros, coleópteros (Dytiscidae, Staphylinidae) y dípteros (Chironomidae, Culicidae) en muestras de aire tomadas a considerable distancia desde la parte continental. Finalmente, no descartamos que los humanos hayan podido introducir de manera accidental algunas especies de insectos acuáticos. Las luces de los barcos por las noches podrían atraer a los insectos, luego al salir mar adentro podrían estar facilitando la dispersión. Introducciones de especies por la acción humana se han reportado inclusive desde los primeros viajes transoceánicos como los realizados en dirigibles (Johnston 1934 citado por Gislen 1948).

Variables ambientales en la Isla del Coco: Las variables fisicoquímicas en los ríos de la Isla del Coco fueron similares a través de este estudio. El oxígeno disuelto fue alto, favorecido posiblemente por las fuertes caídas de agua que presentan los tramos estudiados y la turbulencia del agua, que aunque no se midieron, fueron factores característicos de todos los sitios estudiados. La temperatura se mantuvo constante en todos los puntos estudiados, este parámetro está muy relacionado a la elevación y a la radiación solar. La poca variación puede estar favorecida debido a que el rango de elevación entre los puntos estudiados fue muy poco (0 a 154msnm). Similitudes en la geología y la capacidad de amortiguamiento podrían explicar la homogeneidad del pH entre los sitios. Mientras que la poca variabilidad en conductividad podría indicar que los ríos de la isla no poseen influencia marina.

El dióxido de carbono fue estable en los sitios de estudio, mientras que la dureza de los ríos fue baja. Es posible que la baja

concentración de calcio se debe a que la Isla del Coco está constituida predominantemente por coladas de lava (traquitas y basaltos con olivino) (Alvarado 1982) y sus suelos son relativamente pobres en calcio (Brenes & González 1995), aunque esto necesita más investigación. El tipo de sustrato, la geoquímica de las rocas, el tipo de cobertura boscosa y la ausencia de fuentes importantes de contaminación son los principales factores que determinan la fisicoquímica de los ríos de la Isla del Coco.

Conservación del sistema dulceacuícola de la Isla del Coco: Numerosas estudios se han enfocado en la introducción de fauna no nativa en las islas oceánicas (p.e. Englund 2008, New 2008). Perros, gatos, ratas, cabras, cerdos y venados han sido introducidos con intención en algunos casos y en otros han llegado accidentalmente en barcos. La Isla del Coco enfrenta un grave problema con los cerdos y venados. Los cerdos remueven el suelo en busca de raíces para alimentarse, provocando la muerte de los árboles con lo cual se crean vacíos en el bosque. Por otro lado, los venados ramonean los brotes tiernos evitando que la flora crezca de nuevo. Toda esta actividad provoca una fuerte erosión de los suelos y la escorrentía lleva una continua carga de sedimentos desde las laderas hacia los ríos. Este es el impacto por introducción humana más significativo en la isla, el cual está dañando los ecosistemas ribereños.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a Jorge Cortés, por su invitación a participar de este proyecto, a Jeffry Ortiz, a los guardaparques del Parque Nacional Isla del Coco por su cooperación y apoyo logístico en la isla. Al Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial, por el apoyo económico. A Agustín Engman, Keysa Rosas, Sofía Burgos por sus valiosos comentarios para el mejoramiento de este artículo. Finalmente agradecemos el apoyo de la Asociación MarViva.

RESUMEN

La Isla del Coco es una isla oceánica localizada en el Pacífico Tropical Oriental a unos 492km de Cabo Blanco. La isla cuenta con un área terrestre de 24km² y un área marina protegida de 9640km². Fue declarada Parque Nacional en 1978 y Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1997. Se realizó una gira de recolecta del 22 de mayo al 12 junio 2008. Se recolectaron macroinvertebrados acuáticos en 20 tramos de tres ríos (Genio, Chatham y Sucio) y dos quebradas (Minuto y quebrada sin nombre atrás de estación de guarda parques). En 13 sitios se tomaron parámetros fisicoquímicos. En total se recolectaron 455 individuos de 20 táxones de 15 familias de insectos acuáticos y otros macroinvertebrados. La familia Staphylinidae presentó la mayor abundancia seguida por Chironomidae, los dípteros fueron el orden con mayor riqueza taxonómica. Una relación entre distancia y número de familias se observó apoyando en parte la *Teoría de Biogeografía de Islas*. La relación mejoró al corregir área con elevación, indicando que islas montañosas tenían alta riqueza, posiblemente debido a la mayor intercepción de nubes que alimentan los ambientes dulceacuáticos que favorecen el establecimiento de la fauna acuática. Las variables ambientales fueron similares en todos los sitios.

Palabras clave: insectos acuáticos, islas oceánicas, colonización, variables ambientales, Islas del Pacifico Tropical Oriental.

REFERENCIAS

- Alfaro, E.J. 2008. Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56: 19-29.
- Alvarado, G.E. 1982. Geomorfología y petrografía de algunas provincias volcánicas de Costa Rica. *Bol. Vulc. UNA* 14: 25-28.
- Bass, D. 2003. A comparison of freshwater macroinvertebrate communities on small Caribbean islands. *BioScience* 53: 1094-1100.
- Bermúdez, R.C. & M. López-Victoria. 2009. First records of dragonflies (Odonata: Anisoptera) of Malpelo Island, Colombia. *Rev. Col. Entomol.* 35: 286-287.
- Boyero, L. & R.C. Bailey. 2001. Organization of macroinvertebrate communities at a hierarchy of spatial scales in a tropical stream. *Hydrobiologia* 464: 219-225.
- Boyero, L. & J.L. DeLope. 2002. Short-term recolonization of stones in a tropical island stream. *Mar. Fresh. Res.* 53: 993-998.
- Brenes, G. & C. González. 1995. Geología, hidrología, clima y suelos, p. 22-38. *In* Plan general de manejo Isla del Coco. Anexo I. Sondeo ecológico rápido. Fundación de la Universidad de Costa Rica para la investigación (FUNDEVI), Fundación Pro-Ambiente (PROAMBI), Instituto Costarricense de Turismo (ICT), Servicio de Parques Nacionales (SPN), San José, Costa Rica.
- Byers, G.W. 1981. The crane flies (Diptera: Tipulidae) of Cocos Island, Costa Rica with descriptions of four new species. *Contrib. Sci.* 335: 1-8.
- Cortés, J. 2008. Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56: 1-18.
- Cortés, J. (ed). 2012. Investigaciones marinas en el Parque Nacional Isla de Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 60 (Supl. 3): 1-394.
- Darlington, P.J. 1938. The origin of the fauna of the Greater Antilles, with discussion of dispersal of animals over water and through the air. *Quart. Rev. Biol.* 13: 274-300.
- Darwin, C. 1859. *The origin of species*. Penguin Books, Oxford, Inglaterra.
- Dijkstra, K.D.B. 2007. Gone with the wind: westward dispersal across the Indian Ocean and island speciation in *Hemicordulina* dragonflies (Odonata: Corduliidae). *Zootaxa* 1438: 27-48.
- Englund, R.A. 2008. Invasive species threats to native aquatic insect biodiversity and conservation measures in Hawai'i and French Polynesia. *J. Insect. Conserv.* 12: 415-428.
- Figuerola, J. & A.J. Green. 2002. Dispersal of aquatic organisms by waterbirds: a review of past research and priorities for future studies. *Fresh. Biol.* 47: 483-494.
- Flint, O.S. 1978. Probable origins of West Indian trichoptera and odonata faunas, p. 215-223. *In* M.I. Crichton (ed.). *Proceedings of the Second International Symposium on Trichoptera*. W. Junk, La Haya, Holanda.
- Gislen, T. 1948. Aerial plankton and its conditions of life. *Biol. Rev.* 23: 109-126.
- Gómez, L.D. 1977. La mosca del cangrejo terrestre *Cardiosoma crassum* Smith (Crustacea: Gecarcinidae) en la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 25: 59-63.
- Gómez-Aguirre, A.M., M.C. Longo-Sánchez & J.F. Blanco. 2009. Macroinvertebrates assemblages in Gorgona island Streams: Spatial patterns during two contrasting hydrologic periods. *Act. Biol.* 31: 161-178.
- Green, A.J. & M. Sánchez. 2006. Passive internal dispersal of insect larvae by migratory birds. *Biol. Lett.* 2: 55-57.
- Hashimoto, H. 1979. A new species of *Thalassomyia* (Diptera: Chironomidae) from Cocos Island, Costa Rica. *Annot. Zool. Jap.* 52: 272-276.
- Herrera, W. 1985. Consideraciones climáticas sobre la Isla del Coco. *In* Clima de Costa Rica. UNED, San José, Costa Rica.
- Hertlein, L.G. 1963. Contribution to the biogeography of Cocos Island, including a bibliography. *Proc. California Acad. Sci.* 4: 219-289.

- Hogue, C.L. 1975. A New Species of Bromeliad-Breeding *Culex* (Culex) from Cocos Island. *Mosquito Syst.* 7: 357-362.
- Hogue, C.L. & S.E. Miller. 1981. Entomofauna of Cocos Island, Costa Rica. *Atoll. Res. Bull.* 250: 1-29.
- Holzapfel, E.P. & J.C. Harrell. 1968. Transoceanic dispersal studies of insects. *Pac. Insect.* 10: 115-153.
- Linsley, E.G. & R.L. Usinger. 1966. Insects of the Galápagos Islands. *Proc. California Acad. Sci.* 33: 113-196.
- Longo-Sánchez, M. 2011. Bio-evaluación de las quebradas prístinas del parque natural nacional isla Gorgona (Pacífico Colombiano): controles jerárquicos de la abundancia de los insectos acuáticos; y composición, diversidad y arreglo espacial de los taxa fragmentadores. Tesis de Doctorado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- MacArthur, R.H. & E.O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University, Nueva Jersey, EEUU.
- Merritt, R.W., K.W. Cummins & M. Berg. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa, EEUU.
- Molano-Redón, F., I.T. Morales-Castaño & C. Serrato-Hurtado. 2008. Clasificación y hábitats de Gerridae (Heteroptera-Gerromorpha) en Colombia. *Acta biol. Colomb.* 13: 41-60.
- Montoya, M. 1990. Plan de Manejo Parque Nacional Isla del Coco. Sistema de Parques y Reservas Marinas (SIPAREMA), Servicio de Parques Nacionales (SPN), Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), San José, Costa Rica.
- Montoya, M. 2007. Conozca la Isla del Coco. Una guía para su visitación. BioCurso Isla del Coco: la isla del tesoro. Organización para los Estudios Tropicales (OET), San Pedro, Costa Rica.
- New, T.R. 2008. Insect conservation on islands: setting the scene and defining the needs. *J. Insect. Conserv.* 12: 197-204.
- Peck, S.B. 1992. The dragonflies and damselflies of the Galapagos Islands, Ecuador (Insecta: Odonata). *Psyche* 99: 309-321.
- Peck, S.B. 1994. Aerial dispersal of insects between and to islands in the Galapagos Archipelago, Ecuador. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 87: 218-224.
- Peck, S.B. & J. Kukulova-Peck. 1990. Origin and biogeography of the beetles (Coleoptera) of the Galapagos Archipelago, Ecuador. *Canad. J. Zool.* 68: 1617-1638.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (also available on-line: www.R-project.org/).
- Service, M.W. 1997. Mosquito (Diptera: Culicidae) dispersal: the long and short of it. *J. Med. Entomol.* 34: 579-588.
- Simberloff, D. 1974. Equilibrium theory of island biogeography and ecology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 161-182.
- Smith, G.C., A.P. Covich & A.M. Brasher. 2003. An ecological perspective on the biodiversity of tropical island streams. *BioScience* 53: 1048-1051.
- Springer, M. 2004. Primer listado de insectos acuáticos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Brenesia* 62: 97-98.
- Springer, M., A. Ramírez & P. Hanson. 2010. Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.* 58: 3-240.
- Visher, S. 1925. Tropical cyclones and the dispersal of life from island to island in the Pacific. *Amer. Nat.* 59: 70-78.
- Weston, J.C. 1992. La Isla del Coco. Trejos Hermanos Sucesores, San José, Costa Rica.
- Wikelski, M., D. Moskowit, J.S. Adelman, J. Cochran, D.S. Wilcove & M.L. May. 2006. Simple rules guide dragonfly migration. *Biol. Let.* 2: 325-329.
- Williams, C.B. 1958. Insect migration. Collins, Londres, Inglaterra.
- Wolda, H. 1975. The ecosystem of Malpelo Island, p. 21-76. *In* J. Graham (ed.). The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Contributions to Zoology. Smithsonian Institution, Washington D.C., EEUU.
- Wolda, H. 1975. The ecosystem on Malpelo Island. *In* J.B. Graham (ed.). The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. *Smith. Contr. Zoo.* 176: 21-26.
- Woodley, N.E. 1991. Stratiomyidae of Cocos Island, Costa Rica (Diptera). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 93: 457-462.