

ISSN 1808-8002



**Biología-Química-Física
Matemática-Estadística**

TECNOCIENCIA



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



PRIMER REGISTRO PARA PANAMÁ DE *Goniozus microstigma* EVANS, 1993 (INSECTA: HYMENOPTERA: BETHYLIDAE); Y CLAVE DE ESPECIES DE *Microstigma* (HYMENOPTERA: CRABRONIDAE) PRESENTES EN PANAMÁ

Alonso Santos Murgas¹, Roberto A. Cambra T.²

^{1,2} Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Departamento de Zoología, Universidad de Panamá, República de Panamá. E-mail: ¹santosmurgasa@gmail.com , ²cambramiup60@gmail.com

RESUMEN

Con el propósito de dar a conocer la presencia de *Goniozus microstigma* en Panamá y sus probables hospederos, se recolectaron especímenes de *Goniozus* con trampas Malaise y bandejas amarillas; y nidos de sus posible hospedero *Microstigma* spp colectados en el bosque, desde febrero 1994 hasta enero del 2013. Se colectó un total de 77 ejemplares de *Goniozus* spp., de los cuales solo cinco ejemplares corresponden a *Goniozus microstigma*. Tres individuos son de la provincia de Los Santos, Reserva Forestal La Tronosa y dos individuos de la provincia de Darién, Parque Nacional Darién. Se recolectaron 65 ejemplares del género *Microstigma*, distribuidos en 20 nidos. En 18 de ellos se colectaron 62 especímenes de la especie *M. adelphus*; un nido con dos especímenes a *M. miconiae* y un nido con un espécimen de *M. xanthoceles*. Se propone que *M. adelphus* es una de las posibles especies hospederas de *G. microstigma*, es la más común en Panamá. Estos datos constituyen el primer registro de *Goniozus microstigma* en Panamá y brinda información sobre la biología y ecología de ambos géneros de avispas.

PALABRAS CLAVES

Goniozus, *Microstigma*, parasitoides, nidos.

ABSTRACT

With an objective of studying the occurrence of *Goniozus microstigma* in Panama and the probable hosts, specimens of *Goniozus* were collected using Malaise traps and yellow trays; nests of possible host *Microstigma* spp were collected in Panamanian forest from February 1994 to January of 2013. Of 77 samples of *Goniozus* collected, five correspond to *Goniozus microstigma*, three from La Tronosa Floral reserve in the Province of Los Santos and two from the Darien National Park in the Province of Darien. Sixty five specimens of the genus *Microstigma* distributed in 20 nests were collected, from 18 of these 62 samples of *M. adelophus*, two specimens of *M. miconae* from one nest, and one specimen of *M. Xanthoceles* from the last nest. It is proposed that *M. adelophus* is one of a possible host of *G. microstigma*, which is the most common. These data represent the first account of *Goniozus microstigma* in Panama and provide information on biology and ecology of both genera of wasps.

KEYWORDS

Goniozus, *Microstigma*, parasitoids, nests.

INTRODUCCIÓN

El género *Goniozus* Förster, 1856 incluye unas 150 especies con distribución cosmopolita. En América se reportan 80 especies (Gordh & Moczar, 1990). Santos & González (2001) registran por primera vez para Panamá el género *Goniozus*, en base a especímenes recolectados de cinco morfoespecies. Todas las especies de *Goniozus* son ectoparasitoides gregarios, utilizan generalmente larvas de microlepidópteros como hospederos, especialmente los minadores y enrolladores de hojas; aunque son poco específicos (Laumann *et al.*, 1998).

De acuerdo a sus hábitos y características biológicas, las especies de *Goniozus* son candidatas potenciales para el control de larvas de lepidópteros plagas en plantas utilizadas en la agricultura (Evans, 1964; Gordh & Evans, 1976; Gordh & Hawkins, 1981). Varias especies han sido evaluadas desde el punto de vista del control biológico y su efectividad como agentes de control (Brewer & Varas, 1971; Gordh & Evans, 1976; Gordh & Hawkins, 1981; Gordh, 1984; Carnegie *et al.*, 1985; Conlong *et al.*, 1988; Árida *et al.*, 1989; Betbeder-Matibet, 1990; Conlong, 1990; Peter & David, 1991; Legner & Gordh, 1992; Witethom & Gordh, 1994; Remadevi *et al.*, 1995).

El género *Microstigma* es exclusivo del Neotrópico con 27 especies descritas (Amarante, 2002). Todas las especies conocidas construyen nidos pendulares, confeccionados con material vegetal particulado y unidos con seda producida por glándulas que se encuentran en la parte bucal de las hembras (Matthews, 1968; Richards, 1972; West-Eberhard, 1977). Melo (1993) observó a *Goniozus microstigma* Evans, 1993 introduciéndose en nidos de *Microstigma similis* Melo, 1993, y también encontró pupas blancas del parasitoide *G. microstigma* en celdas de cría en *Microstigma xylicola* Melo, 1993.

El presente trabajo tiene como objetivo reportar por primera vez la especie *Goniozus microstigma* Evans, 1993 para Panamá y conocer algunos aspectos sobre la biología de las especies del género *Microstigma* como sus posibles hospederos de *Goniozus microstigma* Evans, 1993 en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo esta investigación se efectuaron muestreos desde febrero 1994 hasta enero del 2013, en diferentes sitios de Panamá. También se utilizaron datos biológicos de especímenes depositados en la Colección Nacional de Referencia del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá. En el cuadro 1 se muestran los nombres de las distintas localidades donde se muestreo para localizar los posibles hospederos; y el cuadro 2 muestra las localidades donde se colectó el parasitoide.

Los adultos de Bethyridae fueron muestreados utilizando 80 platos amarillos colocados en el suelo, en senderos y en áreas abiertas a una distancia de 10 metros cada uno y cinco trampas Malaise (Townes modificadas).

Para el muestreo de los probables hospederos de *G. microstigma* se recorrían los senderos ubicados en las diferentes localidades. Además, se buscaron los nidos activos de *Microstigma* spp. (Figs. 6-8) en distintas especies de plantas y a diferentes alturas. (los nidos de *Microstigma* spp. recolectados no seguían un patrón de altura definido ni de plantas específicas). Posteriormente, los nidos fueron llevados al laboratorio, colocados en envases de plásticos, debidamente diseñado

para permitir la eclosión de los hospederos o los parasitoides y así observar el ciclo biológico de hospederos y parasitoides.

Los especímenes fueron identificados utilizando las publicaciones de Richards (1977), Melo & Evans (1993) y Melo & Matthews (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron un total de 77 individuos de *Goniozus* spp., de los cuales 72 individuos corresponden a cinco morfoespecies y cinco especímenes a *Goniozus microstigma* Evans, 1993 (Fig.1); tres de los cuales fueron colectados en la provincia de Los Santos, Reserva Forestal La Tronosa y dos individuos en la provincia de Darién, Parque Nacional Darién, Estación Rancho Frío.

La especie *Goniozus microstigma* solo había sido reportada para Brasil, parasitando larvas de *Microstigma xylicola* Melo, 1993 y muy probablemente de *Microstigma similis* Melo, 1993. De allí que suponemos pueda parasitar cualquiera de las tres siguientes especies de *Microstigma* (Hymenoptera: Crabronidae) registradas para Panamá: *Microstigma adelphus* Richards, 1972 (Fig. 2); *Microstigma miconiae* Richards, 1972 (Fig. 3) y *Microstigma xanthosceles* Melo y Matthews, 1997 (Fig. 4).

Al considerar la posible asociación y la distribución de los parasitoides-hospederos, es muy probable que *G. microstigma* en Panamá esté parasitando a la especie *Microstigma adelphus* Richards, 1972. Esta observación se debe a que en los dos sitios donde se encontraron a *Goniozus microstigma* solo se encontraron a *M. adelphus* y no las otras dos especies de *Microstigma*. También hay que considerar que *Microstigma adelphus* es la especie mayormente distribuida en todo el país y la más abundante en todos los muestreos (Cuadro 1).

De las colectas de individuos de *Microstigma* spp en Panamá se obtuvo un total de 65 especímenes y 20 nidos, de los cuales 62 individuos y 18 nidos corresponden a *M. adelphus* (Figs. 2 y 6); mientras que solo dos individuos y un nido corresponden a *M.*

miconiae (Figs. 3 y 7) y un individuo y un nido corresponde a *M. xanthoceleles* (Figs. 4 y 8), lo que indica que la especie mayormente distribuida y más común es *M. adelphus*.

En Panamá las especies del género *Microstigmus* presentan otros enemigos naturales que pudieran estar compitiendo con *G. microstigma* por los hospederos. En este sentido Cambra (2000) reportó cinco especímenes de *Heterospilus* (Hymenoptera: Braconidae) (Fig. 5) que emergieron de un nido de *Microstigmus adelphus* colectado en Panamá.

Para facilitar el estudio y la identificación de las tres especies de *Microstigmus* reportadas para Panamá, se presenta la siguiente clave.

**Clave para especies del género *Microstigmus* Ducke, 1907
presentes en Panamá. (Modificada de Richards 1972)**

1. Primer *sternum* metasomal, cerca de su base, con una quilla ventral longitudinal y medial; machos con un tubérculo distintivo sobre el margen apical del clípeo, menos pronunciado en las hembras ***xanthosceles***
- 1. Primer *sternum* metasomal sin una quilla ventral longitudinal y medial; machos y hembras sin un tubérculo sobre el margen apical del clípeo..... 2
2. *Mesoscutum* claramente rugoso; metasoma amarillo; *scutellum* moderadamente convexo, con una quilla transversa y débilmente longitudinal; diente inferior de la mandíbula largo..... ***adelphus***
- 2. *Mesoscutum* con su tercio discal finamente granulado; tergum dos negro en parte; *scutellum* convexo, sin quilla transversa; diente inferior de la mandíbula corto..... ***miconiae***

Cuadro 1. Localidades donde se colectaron los posibles hospederos (*Microstigmus* spp) y datos biológicos, en Panamá.

Provincias	Sitios	Nº. de Hosp.	Nº. Nidos	Especies de <i>Microstigmus</i>	Parasitoide
Chiriquí	Volcán, Finca Hartman.	2	1	<i>M. xanthosceles</i> Melo y Matthews, 1997	
Colón	Santa Rita, Parador de Sierra Llorona.	1	1	<i>M. miconiae</i> Richards, 1972	
	Santa Rita, Río Llano Sucio.	5	1	<i>M. adelphus</i> Richards, 1972	
Darién	P.N. Darién, Pirre, Estación Rancho Frío.	35	9	<i>M. adelphus</i>	<i>Heterospilus</i> sp (Braconidae). 5 especímenes de un nido
Panamá	P.N. Soberanía, Camino Plantación.	15	6	<i>M. adelphus</i>	
Veraguas	Bahía Honda, Leren.	7	2	<i>M. adelphus</i>	
Total		65	20		

Cuadro 2. Localidades donde se colectó *Goniozus microstigma* E. 1993 y su posible hospedero por distribución, en Panamá.

Provincias	Sitios	Nº. de Parasitoides	“Posible hospedero por localidad”
Los Santos	Reserva Forestal La Tronosa, Cerro La Tronosa	3	<i>Microstigmus adelphus</i> Richards, 1972
Darién	P.N. Darién, Pirre, Estación Rancho Frío.	2	<i>Microstigmus adelphus</i> Richards, 1972
Total		5	

Figuras 1-8.



Fig. 1. *Goniatus microstigmus* E. 1997



Fig. 2. *Microstigmus adelphus* R. 1972



Fig. 3. *Microstigmus miconiae* R. 1972



Fig. 4. *Microstigmus xanthocelus* M. & M. 1997



Fig. 5. Parasitode: Braconidae, *Heterospilus* sp.



Fig. 6. Nido de *Microstigmus adelphus* R. 1972



Fig. 7. Nido de *Microstigmus miconiae* R. 1972



Fig. 8. Nido de *Microstigmus xanthocelus* M. & M. 1997

REFERENCIAS

Amarante, S. T. P. 2002. A Synonymic catalog of the Neotropical Crabronidae and Sphecidae (Hymenoptera: Apoidea). *Arquivos de Zoología* 37 (1): 1-139.

Arida, G. S., B. M. Shepard & L. P. Almazan. 1989. Effect of parasitization on food consumption of rice leaffolder (LF) *Marasmia ptanalis*. *Int. Rice Res. New.* 14: 2-37.

Betbeder-Matibet, M. 1990. Elevage de plusieurs especes genre *Chilo* et de certains de lews parasites pour la lutte biologique contre les foreurs des graminees en Afrique. *Insect Sci. Appl.* 11(4/5): 617-623.

Brewer, M. & D. Varas. 1971. Cría masiva de *Parasierola nigriferum* (Ash.) (Hym.: Bethylidae). Primeras liberaciones en Calamuchita, Córdoba, Argentina. *Rev. peru. entomol.* 14(2): 352-361.

Cambra, R. A. 2002. Monitoreo de avispas Apoidea (Hymenoptera: Crabronidae, Sphecidae) en el Parque Nacional Darién, Panamá. *Scientia* 17(2): 77-97.

Carnegie, A. J. M., D. E. Conlong & D. Y. Graham. 1985. Recent introductions of parasitoids against *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association*. 160-163.

Conlong, D. E. 1990. A study of pest-parasitoid relationship in natural habitats: an aid towards the biological control of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in sugarcane. *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association*. 111-115.

Conlong, D. E., D. Y. Graham & H. Hastings. 1988. Notes on the natural host surveys and laboratory rearing of *Goniozus natalensis* Gordh (Hymenoptera: Bethylidae), a parasitoid of *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) larvae from *Cyperus papyrus* L. in Southern Africa. *J. Entomol. Soc. South Africa* 51(1): 115-127.

Evans, H. E. 1964. A synopsis of the American Bethylidae (Hymenoptera, Aculeata). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University*. 132(1): 1-222.

Förster, A. 1856. Hymenopterologische Studien II. Chalcidiae und Proctotrupii. Aachen. (Verlag von Ernst ter Meer). 152 pp.

Gordh, G. & H. E. Evans. 1976. A new species of *Goniozus* imported into California from Ethiopia for the control of pink bollworm and some notes on the taxonomic status of *Parasierola* and *Goniozus* (Hymenoptera: Bethylidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 78(4): 479-489.

Gordh, G. & B. Hawkins. 1981. *Goniozus emigratus* (Rohwer), a primary external parasite of *Paramyelois transitella* (Walker), and comments on bethylids attacking Lepidoptera (Hymenoptera: Bethylidae; Lepidoptera: Pyralidae). *J. Kansas Entomol. Soc.* 54(4): 787-803.

Gordh, G. 1984. *Goniozus pakmanus* (Hymenoptera: Bethylidae), a new species imported into California for the biological control of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomol. News.* 95(5): 207-211.

Gordh, G. & L. Moczar. 1990. A catalog of the world Bethylidae (Hymenoptera, Aculeata). *Mem. Am. Entomol. Inst. (Gainesville)* 46: 1-364.

Laumann, R. A. 1998. Evaluación en laboratorio de *Goniozus legneri* Gordh (Hymenoptera: Bethylidae) nuevo enemigo natural de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) en cultivos de nogal de la Provincia de Catamarca, República Argentina. Interacción enemigo natural-plaga-insecticida. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur. 188 pp.

Legner, E. F. & G. Gordh. 1992. Lower navel orange-worm (Lepidoptera: Phycitidae) population densities following establishment of *Goniozus legneri* (Hymenoptera: Bethylidae) in California. *J. Econ. Ent.* 85(6): 2153-2160.

Matthew, R. W. 1968. Nesting biology of the wasp *Microstigmus comes* (Hymenoptera: Sphecidae; Pemphredoninae). *Psyche.* 75: 23-45.

Melo, G. A. R. & H. E. Evans. 1993, Two new *Microstigmus* species (Hymenoptera, Sphecidae), with the description of their parasite, *Goniozus microstigmi* sp. n. (Hymenoptera, Bethylidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 95: 258-263.

Peter, C. & B. V. David. 1991. Observation on the oviposition behaviour of *Goniozus sensorious* (Hymenoptera: Bethylidae) a parasite of *Diaphania indica* (Lepidoptera: Pyralidae). *Entomophaga* 36(3): 403- 407.

Remadevi, O. K., V. C. Abdurahiman & T. O. Sasidharam. 1995. A New method for observing the hatching, moulting and for determining the number of larval instars in *Goniozus nephantidis* Mues (Hymenoptera: Bethylidae). *Entomon.* 20 (1): 45-47.

Richards, O. W. 1972. The species of the South American wasps of the genus *Microstigmus* Ducke (Hymenoptera: Sphecoidea, Pemphredoninae), *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.* 124, 123-148.

Santos, M. A. & D. P. González. 2001. *Biosistemática de la Familia Bethylidae (Insecta: Hymenoptera) en Panamá*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. 169 pp.

West, E. M. J. 1977. *Morphology and behavior in the taxonomy of Microstigmus wasps*. In Velthuis, H. H. W., and Wiebes, J. T. (eds.), *Proceedings of the Eighth International Congress of the International Union for the Study of Social Insects*, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, pp. 123–125.

Witethom, B. & G. Gordh. 1994. Development and life table of *Goniozus thailandensis* Gordh y Witethom (Hymenoptera: Bethylidae), a gregarious ectoparasitoid of the Phycitinae fruit borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Sci. Thailand.* 20:101-114.

Recibido agosto de 2013, aceptado abril de 2014.



LOS ROBALOS (PISCES, CENTROPOMIDAE) DEL PACÍFICO DE PANAMÁ: DESAFÍOS EMERGENTES EN INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN

Carlos Vergara-Chen

Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT-AIP), Apartado 0843-01103 Panamá, Panamá. E-mail: vergara.chen@gmail.com

RESUMEN

Se evalúa la diversidad taxonómica, distribución geográfica, ciclo biológico, ecología y pesquerías de los robalos (género *Centropomus*). Ellos comparten muchas características de su ciclo de vida y uso del hábitat que los hacen vulnerables al estrés ambiental y antropogénico en los ecosistemas costeros. La taxonomía de los robalos parece estable. Estas especies se distribuyen en todos los manglares y estuarios. Aunque desovan en hábitats marinos, las larvas se dispersan en entornos estuarinos, cuyas áreas se están reduciendo o presentan una degradación de su calidad ambiental. Todas las especies soportan pesquerías artesanales y se están iniciando ensayos de piscicultura a pequeña escala. Sin embargo, no existe una evaluación formal de las reservas de estas especies, así que la recolección de datos, intercambio de información y técnicas de evaluación deberá facilitar el desarrollo socioeconómico de las pesquerías. No se ha desarrollado pesquerías recreativas para estas especies, no obstante, deben considerar la captura y liberación de los individuos como modelos para mejorar la conservación y el desarrollo económico de los pescadores. La evaluación del estado de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza revela que las seis especies de *Centropomus* presentes en Pacífico oriental tropical están clasificadas como especies de preocupación menor. Los robalos probablemente se enfrentan a importantes desafíos de origen antropogénico a través de la pérdida y alteración del hábitat, y la sobrepesca. Las políticas de gestión y protección deben ser claras y amplias, y junto con la conservación de los estuarios y manglares, beneficiarán tanto a los robalos como a otras especies costeras de interés pesquero.

PALABRAS CLAVES

Centropomus, ecología, pesquerías, estuarios y manglares, conservación, degradación del hábitat.

ABSTRACT

Taxonomic diversity, geographic distribution, life history, ecology and fisheries of snooks (genus *Centropomus*) is evaluated. They share many features of their life cycle and habitat use, making them vulnerable to environmental and anthropogenic stress in coastal ecosystems. The snook taxonomy seems stable. These species are distributed in all mangrove estuaries. Although spawn in marine habitats, the larvae are dispersed within estuarine habitats, whose areas are decreasing or have a degradation of environmental quality. All species support artisanal fisheries and trials are being initiated small-scale fish farming. However, there is no formal assessment of the stocks of these species, so data collection, information sharing and evaluation techniques should facilitate socioeconomic development of fisheries. No developed recreational fisheries for these species, however, should consider the catch and release of individuals as models to improve conservation and economic development of fishermen. Assessing the state of the Red List of the International Union for Conservation of Nature reveals that six *Centropomus* species occurring in tropical eastern Pacific are classified as least concern species. Snooks probably face significant challenges anthropogenic through the loss and alteration of habitat, and overfishing. The management and protection policies should be clear and comprehensive, and together with conservation of estuaries and mangroves benefit both snook and other commercially important inshore fish species.

KEYWORDS

Centropomus, ecology, fisheries, estuaries and mangroves, conservation, habitat degradation

INTRODUCCIÓN

La costa del Pacífico de Panamá se caracteriza por tener una gran diversidad de especies de peces marinos y estuarinos que son el sustento económico para las comunidades costeras, constituyéndose en recursos importantes tanto en el mercado local como nacional. Los pobladores asentados en muchas localidades costeras se benefician de estos recursos a través de la pesca artesanal. Uno de los componentes importantes dentro de la pesca artesanal son las especies de robalo, cuyas tallas y pesos los ubican como recursos comerciales apetecidos. Los robalos pertenecen a la familia Centropomidae y están distribuidos

a lo largo de las aguas costeras tropicales de América (Fischer *et al.*, 1995, Roberson & Allen 2006). Desde el punto de vista evolutivo, las relaciones filogenéticas de este grupo de peces han sido frecuentemente debatidas debido a la morfología conservada y riqueza de especies que caracteriza este grupo de peces (Rivas, 1986, Tringali *et al.*, 1999). Habitan ecosistemas estuarinos y costeros mostrando gran tolerancia a las fluctuaciones de salinidad. Estas características biológicas hacen que los robalos puedan servir como buenos modelos biológicos para probar procesos de diferenciación genética a pequeña escala geográfica y adaptación a condiciones estuarinas.

Estos peces tienen ciclos de vida complejos que involucran cambios ontogenéticos entre distintos entornos litorales, los cuales son vulnerables a destrucción o alteración. Su dependencia a hábitats estuarinos y su valor para la pesca artesanal y deportiva, ha generado preocupación sobre cómo el impacto de la pesca y la pérdida del hábitat puede estar amenazando a los robalos (Vega, 2004). Además, las distribuciones simpátricas y la morfología conservada entre especies dificultan muchas veces la identificación taxonómica y crea desafíos para su gestión y conservación. Estas preocupaciones generales son difíciles de asociar directamente a las diferentes especies porque existe muy poca información sobre la estructura de sus poblaciones. En general, el conocimiento biológico y pesquero es deficiente para la mayoría de las especies del Pacífico oriental. Conocer estos aspectos será de utilidad para comprender los efectos combinados de capturas excesivas y pérdida o degradación del hábitat.

En este trabajo se presenta una reseña organizada de tal manera que sirva para ofrecer, primero, un resumen sobre el estado general del conocimiento (biología, pesca, necesidades de investigación y conservación) para las especies de *Centropomus*, seguida de una discusión integradora de la información disponible con el fin de sugerir orientaciones futuras para la adquisición de datos y la gestión pesquera. Nos hemos centrado en los robalos de las costas del Pacífico de Panamá debido a que de todas las especies de robalos presentes en aguas panameñas, actualmente son las principales sometidas a explotación pesquera.

DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN

Existen 12 especies nominales del género *Centropomus* (Lacépède, 1802) que componen la subfamilia Centropominae (Rivas 1986) y que está representada tanto en el Atlántico occidental como el Pacífico oriental. Seis de estas especies se encuentran y son endémicas del Pacífico oriental (*C. armatus*, *C. medius*, *C. nigrescens*, *C. robalito*, *C. viridis* y *C. unionensis*) (Fig. 1). Este género ha sido descrito como un grupo homogéneo y compacto que se distingue claramente de sus congéneres centropómidos, *Lates* y *Psammoperca* (Rivas, 1986). A pesar de los estudios taxonómicos, la clasificación de las especies de *Centropomus* con base a criterios morfológicos ha sido complicada. Al menos 30 especies nominales habían sido descritas a lo largo de la historia del género. Muchas especies putativas fueron sinonimizadas por Meek & Hildebrand (1925), quienes reconocieron ocho especies como válidas: *C. ensiferus*, *C. robalito*, *C. unionensis*, *C. armatus*, *C. pectinatus*, *C. parallelus*, *C. undecimalis* y *C. nigrescens*. Posteriormente, Chavez (1961) también reconoció *C. poeyi* que fue aceptado por Fraser (1968) y Greenwood (1976). Rivas (1986) revisó las especies del Pacífico oriental y reelevó tres taxa de robalos a nivel de especies presentando una clave para la identificación de los Centropomidae. Dos de las especies elevadas, *C. medius* y *C. viridis*, habitan las aguas costeras del Pacífico oriental y representan especies geminadas transistmicas de sus congeneres correspondientes del Atlántico, *C. pectinatus* y *C. undecimalis*. *C. ensiferus* (Atlántico) y *C. robalito* (Pacífico) también son especies geminadas transistmicas. La tercera especie reconocida por Rivas (1986), *C. mexicanus* es simpátrica con su especie hermana en el Atlántico *C. parallelus*. Usando un número de caracteres morfológicos y merísticos, Rivas diferenció convincentemente *C. viridis* de otros centropómidos, incluyendo a sus especies hermanas del Atlántico *C. undecimalis* y *C. poeyi*. Sin embargo, *C. medius* y *C. mexicanus* podrían ser diferenciados de sus especies hermanas respectivas *C. pectinatus* y *C. parallelus* solamente por el conteo de escamas. De este modo, la clasificación de estas especies sigue siendo controvertida. Métodos moleculares han sido usados para esclarecer la clasificación de *Centropomus* con base en datos morfológicos propuesta por Rivas en 1986 (Tringali *et al.*, 1999a). Los resultados de la evaluación de las relaciones genéticas entre especies fueron congruentes con la revisión

taxonómica anatómica lográndose identificar cada especie sin ambigüedades (Tringali *et al.*, 1999a).

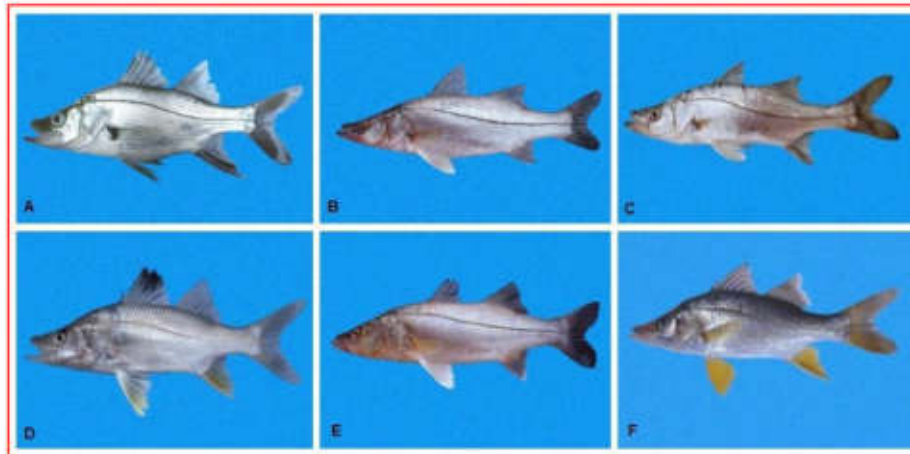


Fig. 1. Especies de robalos (*Centropomus* sp.) del Pacífico oriental tropical. A) *C. armatus*; B) *C. viridis*; C) *C. medius*; D) *C. unionensis*; E) *C. nigrescens*; F) *C. robalito*. Fotos tomadas de Robertson, D.R., Allen, G.R. 2006. Shorefishes of the tropical eastern Pacific: an information system. Version 2. DVD-ROM. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama.

Todas las especies de robalo habitan sobre fondos de arena, fango y grava en bahías, esteros, lagunas costeras y partes inferiores de ríos y quebradas de aguas dulces con manglares de las zonas tropicales del continente americano. En el Pacífico oriental, cinco especies se encuentran distribuidas desde el Golfo de California hasta Ecuador (*C. armatus*, *C. medius*, *C. nigrescens*, *C. robalito* y *C. viridis*) y solo una (*C. unionensis*) ocupa un rango desde El Salvador hasta Perú (Cuadro 1). Es evidente que las seis especies presentan distribuciones simpátricas y temporadas de reproducción solapadas, ocupando una misma área geográfica o áreas sobrepuestas. Cuando especies estrechamente relacionadas, pero distintas, son simpátricas como sucede con las especies de *Centropomus* puede ser un indicio que en el Pacífico oriental tropical estas especies han surgido por especiación ecológica (Tringali *et al.*, 1999b). La especiación ecológica es una controvertida forma de especiación en la que una población se divide en dos, simpátricas o en presencia de flujo génico. En estos casos, la selección

natural entre hábitats marinos contrastantes anula el flujo génico, y las poblaciones son llevadas a lo largo de caminos evolutivos separados (ver Rocha *et al.*, 2005, Bowen *et al.*, 2013). Ejemplos de especiación ecológica han sido informados en otras especies de peces marinos (e.g. Munday *et al.*, 2004, Rocha *et al.*, 2008, Vergara-Chen *et al.*, 2009, Crow *et al.*, 2010). Las fluctuaciones en la geografía y características físicas de los entornos costeros y estuarinos junto con el surgimiento del Istmo de Panamá (Coates *et al.*, 1992) constituyen factores importantes que pudieron haber promovido la diversificación y distribución geográfica actual de las especies de *Centropomus* (Tringali *et al.*, 1999b).

Cuadro 1. Distribución geográfica de las seis especies de *Centropomus* en el Pacífico oriental tropical.

Especies	Distribución geográfica
<i>Centropomus armatus</i>	La boca del Golfo de California hasta Ecuador
<i>Centropomus medius</i>	Desde el sur de Baja California y el Golfo de California central a Ecuador
<i>Centropomus nigrescens</i>	El sur de Baja California y las partes suroeste y este central del Golfo de California a Ecuador
<i>Centropomus robalito</i>	Las partes suroeste y este central del Golfo de California a Ecuador
<i>Centropomus unionensis</i>	Desde El Salvador a Perú
<i>Centropomus viridis</i>	Baja California Sur y el Golfo de California central a Perú y las Galápagos

ECOLOGÍA, CICLO BIOLÓGICO Y GENÉTICA DE POBLACIONES

Es importante iniciar este apartado, destacando que la mayoría del conocimiento sobre la biología y ecología básica de los robalos está fundamentado en los estudios llevados a cabo con la especie atlántica, el robalo común *C. undecimalis* (Andrade *et al.*, 2013; Perera-García *et al.*, 2011, 2013 y referencias citadas en estos trabajos). Estos peces son organismos eurihalinos, diádromos, dependientes de aguas salobres y estrechamente relacionados con los manglares estuarinos (Rivas, 1986, Muhlia-Melo *et al.*, 1995, Taylor *et al.*, 2000). Son peces

carnívoros importantes de alto nivel que se alimentan de una variedad amplia de crustáceos y peces, explotando el tamaño específico de las presas en función de su abundancia en el entorno (Muhlía-Melo *et al.*, 1995, Vega, 2004, Blewett *et al.*, 2006). Se tiene referencia que los robalos suben grandes distancias en los ríos con fines alimentarios (Cooke & Tapia, 1994, Castro-Aguirre, 1999; Robles & Vega, 2004). Los análisis de alimentación natural muestran que las especies de robalo se alimentan de manera oportunista cambiando de presas en relación con el tipo de hábitat que ocupan (Aliaume *et al.*, 2005, Blewett *et al.*, 2006).

En general, el periodo reproductivo para el robalo blanco (*C. undecimalis*) del Atlántico occidental se ha descrito de marzo a noviembre, con máximos valores de desoves entre mayo y agosto (Osorio & González, 1986, McMichael *et al.*, 1989, Taylor *et al.*, 2000, Lozano & Olaya-Nieto, 2004, Caballero-Chavez, 2011, Perera-García *et al.*, 2011, Lorán-Núñez *et al.*, 2012, Andrade *et al.*, 2013). Por otra parte, la temporada de reproducción del robalo prieto (*C. poeyi*), otra especie del Atlántico, fue de junio a agosto con un pico máximo en julio y agosto (Lorán-Núñez *et al.*, 2012). En cuanto a las especies de robalo del Pacífico oriental, solo hay información para *C. medius* de las costas mexicanas para la cual se ha registrado un periodo de crecimiento y engorde muy activo de enero a marzo, entretanto el periodo de desove se extiende de septiembre a noviembre con un pico de actividad en septiembre (Maldonado-García *et al.*, 2005). Los robalos desovan en zonas costeras cercanas a los estuarios. Presentan desoves sincrónicos cuando están agregados, lo cual es una característica de los teleósteos (Alonzo & Mangel, 2005, Maldonado-García *et al.*, 2005). Sin embargo, pueden ocurrir desoves asincrónicos, desfases en las épocas de reproducción, que provoca que haya muchos individuos con un desove parcial característico de las regiones tropicales (Wallace *et al.*, 1993, Tobias, 2001, Lowerre-Barbieri *et al.*, 2003). Después de la eclosión de los huevos, las larvas son transportadas por las corrientes hacia aguas someras y colonizan áreas estuarinas protegidas (Gilmore *et al.*, 1983; McMichael *et al.*, 1989). Para el caso de las especies de robalo del Atlántico, puede ocurrir una segregación espacial de la dominancia de las especies entre los hábitats de crianza ocupando en diferente medida las bocas de ríos y lagunas costeras (Aliaume *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha reportado

solapamiento espacial y temporal en el uso del hábitat por los juveniles entre las diferentes especies (Aliaume *et al.*, 2005, Stevens *et al.*, 2007).

La única referencia previa sobre la biología de los robalos en Panamá es el trabajo de Vega (2004) en donde se entrega información general sobre distribución, tallas y pesos, alimentación y reproducción de las seis especies que habitan el Golfo de Montijo, una de las principales zonas de pesca del litoral Pacífico panameño (Cuadro 2). En este estudio, se resalta que el factor que más incidencia tiene en la distribución de las especies de robalos es la salinidad (Vega, 2004). De las especies capturadas, *C. armatus* y *C. medius* son las más abundantes y ambas coinciden en tener mayor actividad reproductiva hacia los meses de octubre a noviembre. De este modo, de implementarse una veda deben tomarse en cuenta estos meses, como una alternativa a la gestión y conservación del recurso (Vega, 2004).

La genética de las poblaciones de los robalos ha recibido bastante atención, tanto para la especie más conocida (*C. undecimalis*) como para otras especies del Atlántico occidental y del Pacífico oriental. Se han realizado análisis con base en alozimas y polimorfismos de fragmentos de restricción (RFLP) del ADN mitocondrial proveen evidencia de flujo génico restringido entre poblaciones de *C. undecimalis* de la costa Atlántica de Florida y las aguas del Golfo de México (Tringali & Leber, 1999c). Sin embargo, estos análisis quizá hayan fallado en revelar diferencias genéticas entre reservas (“stocks”) dentro de estas regiones. Por otra parte, los patrones de variación genética en un fragmento del gen citocromo B del ADN mitocondrial en *C. parallelus* no muestran evidencia de diferenciación genética a lo largo de la costa brasileña, señalando la existencia de un elevado flujo génico entre las poblaciones estudiadas (Prodocimo *et al.*, 2008). Existen algunos estudios genéticos de las poblaciones de robalo del Pacífico, que utilizando pruebas de homogeneidad de la frecuencia de alelos multilocus y estimados de subdivisión poblacional usando alozimas y marcadores RAPD revelaron la existencia de estructura poblacional en coincidencia con la separación geográfica de las muestras (Díaz-Jaimes *et al.*, 2007). Las fluctuaciones en tamaño poblacional y la expansión de rango de estas poblaciones podrían

explicar las discrepancias entre los niveles de diversidad genética y la estructura poblacional detectada en las diferentes especies de *Centropomus* (Díaz-Jaimes *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Resumen de algunos aspectos biológicos de las especies de robalos (*Centropomus* sp.) presentes en estuarios y aguas costeras del Pacífico de Panamá. Datos extraídos de Vega (2004).

Especies	Talla máxima (cm)	Peso máximo (g)	Época de reproducción	Alimentación
<i>C. armatus</i>	31.0	352.0	Todo el año (picos reproductivos en julio y noviembre)	Crustáceos, peces y moluscos
<i>C. medius</i>	36.4	389.9	Entre abril y octubre	Crustáceos y peces
<i>C. nigrescens</i>	53.3	790.3	No determinada	Peces (Engraulidae)
<i>C. robalito</i>	10.9	No determinado	No determinada	Crustáceos
<i>C. unionensis</i>	29.2	318.3	No determinada	Crustáceos
<i>C. viridis</i>	66.9	3000.1	No determinada	Peces (Engraulidae)

IMPORTANCIA COMERCIAL Y MANEJO PESQUERO

Los robalos son valorados por la pesca comercial, la pesca deportiva y la acuicultura en Centro y Suramérica debido a la calidad de su carne blanca de sabor suave y muy apreciada para el consumo. Para el caso de Panamá, las estadísticas de desembarque para el grupo de especies de robalo, durante el año 2009, indican capturas por el orden de 17,294 libras (7,845 kg) de un total de 332,692.30 libras (150,907 kg) de peces, es decir, el 5.2% de todas las especies de peces desembarcadas en el Mercado de Mariscos de la Ciudad de Panamá (Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, datos no publicados) (Fig. 2). A pesar de que no es significativo el aporte de los robalos a los volúmenes de pesca, su valor comercial y su utilización dentro de la pesca deportiva, amerita la implementación de medidas de protección (Vega, 2004). De esta manera, la inspección pesquera es un elemento básico para garantizar el cumplimiento de la normativa pesquera nacional. Hay que resaltar que las costas del Pacífico de Panamá poseen una flota artesanal importante, que aprovechando la bondad de sus aguas, es objeto de pesquerías no reguladas que obligan a un seguimiento y

control constante. En este sentido, es necesario un control administrativo sobre las pesquerías de robalo, lo cual permitirá conocer la evolución temporal de las capturas por especies, épocas del año, esfuerzo pesquero, etc.

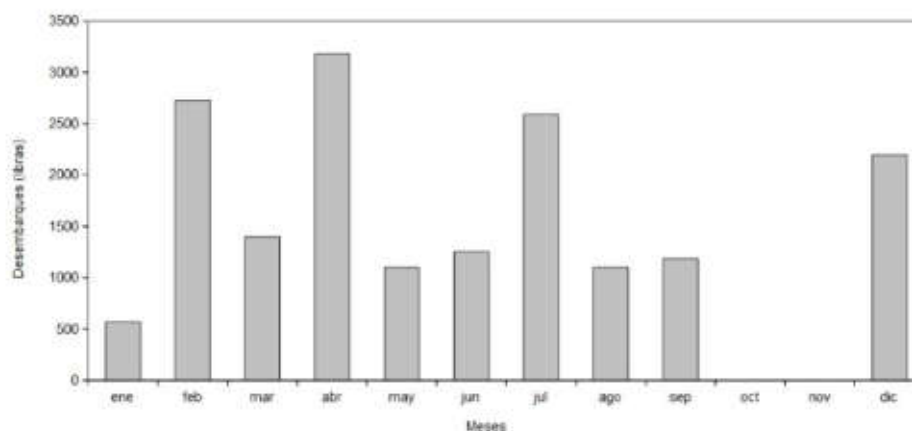


Fig. 2. Desembarques de robalos (*Centropomus* sp.) registrados en el Mercado de Mariscos de la Ciudad de Panamá durante 2009. Fuente: Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP). Para los meses de octubre y noviembre no hay datos disponibles.

Se desconoce si en Panamá las poblaciones de este recurso constituyen un stock pesquero unitario o varios stocks. El manejo adecuado de los robalos requiere la identificación de unidades reproductivas o stocks sobre los que se ejercen las actividades pesqueras. Por lo tanto, el conocimiento sobre la estructuración genética de sus poblaciones y el estudio de la adaptación a condiciones locales son relevantes para adecuar estrategias de manejo. Actualmente, no existen estrategias para la gestión de la pesca de robalos como consecuencia del desconocimiento de sus aspectos biológicos, pesqueros y socioeconómicos. No obstante, la normativa general sobre la actividad pesquera vigente incluye el Decreto 210 de 25 de octubre de 1965 (Gaceta Oficial 15488 de 28/10/65) adicionado parcialmente por el Decreto Ejecutivo 78 de 29 de noviembre de 1972 (Gaceta Oficial 17255 de 03/01/73) y por el Decreto Ejecutivo 9 de 26 de febrero de 1985 (Gaceta Oficial 20266 de 18/03/85). Este decreto establece que queda prohibida la captura de todas las especies marinas utilizando embarcaciones de diez (10) toneladas brutas dentro de esteros, además

de otras áreas de pesca claramente identificadas (Marviva 2011). Por otra parte, el Decreto Ejecutivo 124 de 8 de noviembre de 1990, modificado por el Decreto Ejecutivo 41 de 4 de octubre de 1991 define la pesca ribereña y la prohíbe en las zonas estuarinas entre Punta Chame y la Isla de Taborcillo en la Bahía de Panamá. En la pesca ribereña queda prohibido el uso de redes agalleras, conocidas en Panamá como trasmallos, con longitud de malla menor de tres (3) pulgadas, medida de nudo a nudo, con la malla completamente extendida (Marviva, 2011). Las futuras medidas que se establezcan deben conllevar la supervisión, control e inspección de la explotación de las poblaciones de robalos, así como de forma especial velar por el cumplimiento de estas normas pesqueras. Sin embargo, es necesaria la revisión de estos reglamentos generales de pesca y su actualización para adecuarlos con base a la información biológica y pesquera que se genere del recurso robalo en Panamá.

Los robalos son considerados candidatos potenciales para la acuicultura debido a que son organismos robustos y sedentarios, no tienen gastos energéticos excesivos, presentan un crecimiento rápido, tasas eficientes de conversión de alimento, y un rendimiento de biomasa muy elevado por unidad de volumen en sistemas de cultivo (Alvarez-Lajonchère & Tsuzuki 2008 y referencias citadas). A pesar de que las iniciativas de investigación y desarrollo sobre crecimiento, nutrición, reproducción y tecnologías de producción son continuas (e.g. Alvarez-Lajonchère *et al.*, 2002, Zarza-Meza *et al.*, 2006a, 2006b, Alvarez-Lajonchère & Tsuzuki 2008, Cerqueira & Tsuzuki, 2009, Yanes Roca & Main, 2012, Alvarez-Lajonchère & Ibarra-Castro, 2013), todavía no se han establecido proyectos comerciales de cultivo a gran escala, aunque se han realizado proyectos de repoblación de pesquerías utilizando juveniles criados en cautiverio (Brennan *et al.*, 2008). Por otra parte, algunos estudios sobre la ictiofauna asociada a los estanques de tierra en donde se desarrolla el cultivo de camarón blanco en zonas estuarinas han registrado la presencia de robalos (e.g. Hopkins *et al.*, 1995, Hendrickx *et al.*, 1996, Samocha *et al.*, 2004, Costa & Camara, 2012). En Panamá ha sido observada la presencia de la especie *C. robalito* en los estanques de cultivo de camarón de la Estación de Aguas Estuarinas Enrique Enseñat de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá ubicada en Aguadulce (ARAP, 2010). Esto una evidencia de que esta especie de robalo pueden tener

posibilidades de cría exitosa en sistemas de cultivo en estanques de tierra y jaulas en los estuarios del Pacífico de Panamá caracterizados por amplias variaciones de salinidad y turbidez elevada. Además, a través de ensayos preliminares de aclimatación de individuos salvajes al medio controlado se ha logrado el cambio del hábito de alimento vivo a alimento inerte. Las acciones se realizan para coleccionar información sobre el manejo y acondicionamiento de un lote de reproductores con el fin de inducir la reproducción para incorporar e impulsar la tecnología de piscicultura de robalos (ARAP, 2010).

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN

Las especies de *Centropomus* han sido escasamente estudiadas en Panamá y particularmente no se ha atendido de manera amplia ni sus aspectos biológicos ni pesqueros. La única información disponible sobre los robalos proviene de evaluaciones preliminares realizadas en el Golfo de Montijo (Vega, 2004). Es necesaria la ampliación de los estudios de edad, crecimiento y reproducción de estas especies para obtener resultados concretos y completos referentes a la madurez gonadal, fecundidad, talla mínima de madurez sexual, etc. Desde el punto de vista pesquero, es necesario determinar las artes y métodos de pesca empleados, las capturas y esfuerzo pesquero, captura por unidad de esfuerzo, y los aspectos socioeconómicos de estas pesquerías con el fin de proponer medidas y propuestas de regulación de este recurso pesquero (Cuadro 3).

Se desconoce la magnitud del efecto de la pesca sobre las poblaciones de robalos en las aguas del Pacífico de Panamá, principalmente debido a la falta de datos sobre las capturas a bordo de embarcaciones pesqueras y en los puertos de desembarque. Si no se dispone de información fiable, no podrán alcanzarse decisiones duraderas ni realizarse un diagnóstico de la situación de las pesquerías de robalo ni pronósticos sobre los efectos del control de la ordenación. Es necesario establecer programas de monitoreo a largo plazo, con la finalidad de reducir riesgos y mejorar los conocimientos de las poblaciones de robalo mediante una mejor información y análisis más atentos, y una adopción de decisiones más sólidas sustentadas en la biología y dinámica pesquera del recurso. El inicio y continuación de estudios sobre estructura de edades, actividad reproductiva, reclutamiento y

variación genética a escalas espaciales y temporales serán útiles para comparar la dinámica y conectividad de las poblaciones bajo diferentes tasas de explotación o en diferentes hábitats, constituyendo una base importante para la gestión del recurso. El desarrollo de programas de investigación que integren aspectos biológicos y datos ambientales, como temperatura, salinidad y precipitación pluvial como apoyo, pueden contribuir a explicar patrones reproductivos locales y a identificar stocks pesqueros en estas especies a largo plazo en los estuarios y manglares del Pacífico panameño.

Cuadro 3. Amenazas y necesidades de investigación y conservación para las especies de *Centropomus* del Pacífico oriental tropical.

Amenazas, necesidades de investigación y conservación
• Pérdida y degradación del hábitat por desarrollo urbano. • Contaminación acuática por sustancias tóxicas (e.g. metales pesados, hidrocarburos). • Estudios detallados sobre estructura de tallas y edades, ciclos de reproducción, estructura, dinámica y conectividad de las poblaciones. • Gestión de los estuarios y manglares desde una perspectiva ecosistémica.

La dependencia de los robalos a las aguas estuarinas y áreas de manglar, ha generado preocupación sobre cómo el impacto de la pérdida del hábitat (degradación de los estuarios y manglares) puede estar amenazando a las poblaciones naturales de robalo. La degradación de los estuarios y manglares incluye perturbaciones en los flujos hidrológicos entre el medio fluvial y el medio marino que afectan la calidad del agua, niveles bajos de oxígeno disuelto y contaminación por sustancias tóxicas (Moreira *et al.*, 2012, Restrepo & Kettner, 2012, Jennerjahn, 2012, Grilo *et al.*, 2013, Valiela *et al.*, 2012, 2013). En este sentido, ya existe evidencia de las consecuencias de la degradación del hábitat sobre los robalos. Se ha informado que la diversidad de la dieta en estuarios menos degradados es mayor que estuarios más degradados y la importancia de las presas más relevantes es desproporcionadamente más alta en los estuarios más degradados (Adams *et al.*, 2009). La diferencia en la diversidad de la dieta de los juveniles de robalo puede ser un indicador de un conjunto de cambios en el funcionamiento del ecosistema y en la estructura de la red trófica

que pueden reducir la tasa de reclutamiento exitoso de estos juveniles a la población adulta (Adams *et al.*, 2009). Por otra parte, los niveles elevados de contaminación química de las aguas y sedimentos detectado en los estuarios y manglares (Dsikowitzky *et al.*, 2011, Lewis *et al.*, 2011) pueden inducir daños genéticos (Kirschbaum *et al.*, 2009) y fisiológicos (Seriani *et al.*, 2013) en los robalos conduciendo a desbalances ecológicos. De este modo, la evidencia científica puntualiza la necesidad de realizar investigaciones sobre el impacto de la degradación y pérdida del hábitat sobre las poblaciones de robalo. De igual manera, la conservación de estas poblaciones debe considerar la protección de los ecosistemas estuarinos y zonas de manglar que les proporcionan hábitats esenciales para la crianza de juveniles.

El estudio de la relación entre las condiciones del medio ambiente estuarino y la variabilidad genética de las poblaciones de robalos es otro aspecto interesante que requiere la realización de estudios científicos. En este contexto, la actividad investigadora en el campo de la genética de poblaciones a lo largo de gradientes ambientales en estuarios y lagunas costeras es constante y ha generado contribuciones importantes para comprender la naturaleza de estos procesos ecológicos (e.g. González-Wangüemert *et al.*, 2006, 2009, González-Wangüemert & Pérez-Ruzafa, 2012, Richards *et al.*, 2010, Vergara-Chen *et al.*, 2010a, 2010b, 2013). Los estuarios son aguas costeras de transición sometidas a fuertes restricciones ambientales que pueden desempeñar un papel importante en la separación de las especies en poblaciones diferentes, incluso a pequeña escala espacial (Bamber & Henderson, 1988; Bradbury *et al.*, 2008; D'Anatro *et al.*, 2011; Fluker *et al.*, 2011). Por lo tanto, las limitantes ambientales en los estuarios podrían contribuir a la diferenciación poblacional y se podría esperar hallar adaptación local bajo diferentes condiciones ecológicas causando una elevada heterogeneidad genética dentro de las poblaciones estuarinas a pequeña escala espacial. Estudios para evaluar estos problemas se han desarrollado teniendo como modelo de estudio especies propias de estuarios y lagunas costeras templadas (Bilton *et al.*, 2002, Watts & Johnson, 2004, y referencias citadas previamente). Sin embargo, estos patrones y procesos de estructuración genética son aún poco conocidos en regiones tropicales. Las especies de robalo normalmente son abundantes en los estuarios y

lagunas costeras tropicales del Pacífico oriental. Son organismos eurihalinos y dependientes de las aguas estuarinas, características ecológicas que hacen de los robalos, modelos muy interesantes para el estudio de la estructura genética a pequeña escala y la adaptación a las condiciones ambientales muy variables de los ecosistemas de aguas salobres e hipersalinas. Investigaciones de esta naturaleza serán novedosas y un aporte a la genética y genómica de poblaciones en ecosistemas costeros tropicales (Fig. 3). La información que se genere permitirá entender de una manera integral los efectos de las condiciones ambientales en la fisiología de los robalos o su capacidad de respuesta. Además será de utilidad para los esfuerzos de conservación a través de la asignación de unidades de manejo genético con claras implicaciones prácticas para determinar los efectos de la pesca sobre la variación genética y para el desarrollo de la acuicultura.

La evaluación del estado de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza revela que las seis especies de *Centropomus* presentes en Pacífico oriental tropical están clasificadas como especies de preocupación menor. No obstante, para actualizar y validar esta clasificación se requieren de nuevas aproximaciones para la adquisición de datos sobre la ecología y las necesidades de hábitat de estas especies, la determinación de la estructura genética y conectividad poblacional, los efectos potenciales de la pérdida o degradación de los hábitats (estuarios y manglares), y el desarrollo de métodos para el seguimiento de las pesquerías a largo plazo. Los modelos que incorporen estos factores pueden luego ser derivados para proveer un marco de referencia y guiar la investigación y conservación. Desde la perspectiva socioeconómica, las pesquerías de robalos no están claramente estudiadas, por lo que deberían iniciarse y mejorarse determinadas medidas encaminadas a la mejora social y económica de los pescadores dedicados a esta actividad. Esto ayudará a evaluar el profesionalismo de los pescadores, el nivel de respeto al medio ambiente y la sostenibilidad de las pesquerías. Además, sería muy provechoso el desarrollo de un modelo bioeconómico de la pesca de robalos mediante la aplicación de herramientas informáticas a partir de la gestión pesquera.

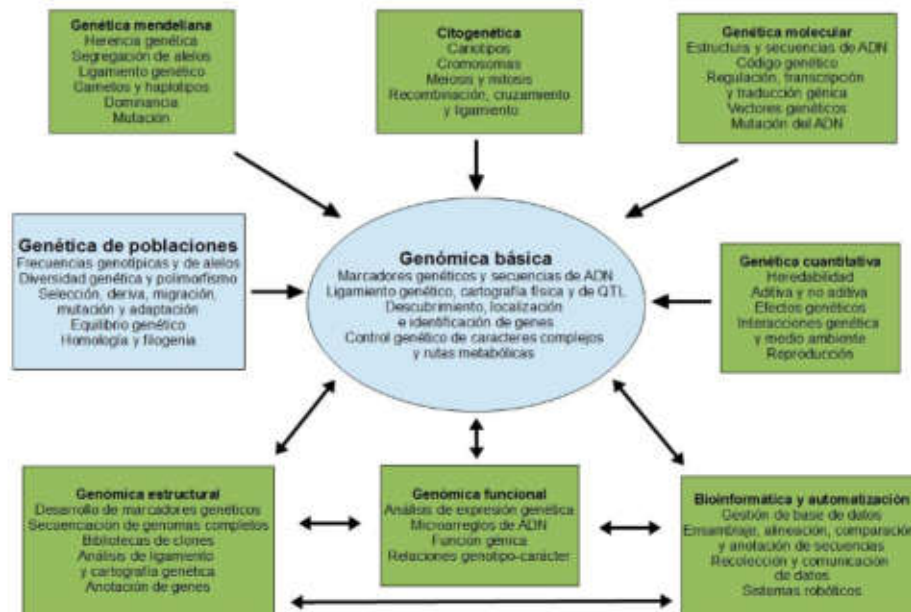


Fig. 3. Temáticas de investigación necesarias en genética y genómica de las especies de róbalo (*Centropomus* sp.) del Pacífico oriental. En color celeste están indicadas las áreas en donde existen datos publicados e investigaciones en curso, mientras que en color verde se señalan las áreas que requieren esfuerzos de trabajo y generación de información científica.

CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

Estamos siendo testigos de cambios sin precedentes en el medio marino y los recursos pesqueros, cuyas consecuencias probablemente desconocemos. Esta aseveración está fundamentada en la evidencia científica relacionada con la sobrepesca, destrucción de los hábitats y cambios ambientales en el océano. Los desafíos y oportunidades deben ser tomados en cuenta en el contexto de un paisaje marino cambiante. Para el caso particular de las especies de robalo del Pacífico de Panamá, no se dispone de información de captura esfuerzo mensual y anual, áreas y artes de pesca, con la cual se podrían identificar las principales zonas de pesca. Se recomienda cuantificar los volúmenes de captura, magnitud del esfuerzo de pesca y precios de comercialización de las especies en los puertos de desembarque. Una acción interesante es la elaboración de cartas de distribución de las

zonas de pesca que aportaría información relevante para la gestión pesquera. Todo esto se fundamenta en la gran importancia comercial que tiene la pesca de róbalo, siendo frecuente su presencia en los mercados por su excelente carne, aunque su precio resulta ser bajo. También es una especie con potencial para acuicultura costera que requiere de mayores estudios en este campo.

El monitoreo a largo plazo de aspectos biológicos y pesqueros sería una contribución hacia la identificación los probables cambios en la distribución y volúmenes de desembarque de estas especies, permitirían predecir la presencia de eventos oceanográficos (e.g. El Niño, cambios en la temperatura del mar y fluctuaciones en la precipitación fluvial que afectan la salinidad en las zonas estuarinas y manglares). De este modo, es una necesidad imperante contar con información estadística de las pesquerías de robalo a fin de obtener datos oportunos y confiables, los cuales son de gran interés porque se constituyen como una de las principales herramientas para la toma de decisiones orientadas a la conservación de los stocks pesqueros en el tiempo, a fin de que sirvan como sustento del desarrollo productivo y económico del sector.

AGRADECIMIENTOS

La Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) facilitó datos sobre desembarques de robalo obtenidos en el Mercado de Mariscos de la Ciudad de Panamá. El autor es apoyado por el Sistema Nacional de Investigación (contrato SNI 32-2013) de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá.

REFERENCIAS

Adams, A.J., R.K. Wolfe & C.A. Layman. 2009. Preliminary examination of how human-driven freshwater flow alteration affects trophic ecology of juvenile snook (*Centropomus undecimalis*) in estuarine creeks. *Estuar. Coast.* 32: 819-828.

Aliaume, C., A. Zerbi & J.M. Miller. 2005. Juvenile snook species in Puerto Rico estuaries: distribution, abundance and habitat description. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.* 47: 499-519.

Alonzo, S.H. & M. Mange. 2005. Sex-change rules, stock dynamics, and the performance of spawning-per-recruit measures in protogynous stocks. *Fish. Bull.* 103: 229-245.

Alvarez-Lajonchère, L., V. R. Cerqueira, I. D. Silva, J. Araujo & M. Reis. 2002. Mass Production of Juveniles of the Fat Snook *Centropomus parallelus* in Brazil. *J. World Aquacult. Soc.* 33: 506-516.

Alvarez-Lajonchère, L. & M.Y. Tsuzuki. 2008. A review of methods for *Centropomus* spp. (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. *Aquacult. Res.* 39: 684-700.

Alvarez-Lajonchère, L. & L. Ibarra-Castro. 2013. Aquaculture species selection method applied to marine fish in the Caribbean. *Aquacult.* 408-409: 20-29.

Andrade, H., J. Santos & R. Taylor. 2013. Life-history traits of the common snook *Centropomus undecimalis* in a Caribbean estuary and large-scale biogeographic patterns relevant to management. *J. Fish Biol.* 82: 1951-1974.

ARAP. 2010. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. Memoria anual 2010. República de Panamá. 82p.

Bamber, R.N. & P.A. Henderson. 1988. Pre-adaptive plasticity in atherinids and the estuarine seat of teleost evolution. *J. Fish Biol.* 33: 17-23.

Blewett, D.A., R.A. Hensley & P.W. Stevens. 2006. Feeding habits of common snook, *Centropomus undecimalis*, in Charlotte Harbor, Florida. *Gulf Carib. Res.* 18: 1-13.

Bowen, B.W., L.A. Rocha, R.J. Toonen, S.A. Karl, M.T. Craig, J.D. DiBattista, J.A. Eble, M.R. Gaither, D. Skillings & C.J. Bird. 2013. The origins of tropical marine biodiversity. *Trend. Ecol. Evol.* 28(6): 359-366.

Bilton, D.T., J. Paula & J.D.D. Bishop. 2002. Dispersal, genetic differentiation and speciation in estuarine systems. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 55: 937-952.

Bradbury, I.R., S.E. Campana & P. Bentzen. 2008. Low genetic connectivity in an estuarine fish with pelagic larvae. *Can. J. Aquat. Sci. Fish.* 65: 147-158.

Brennan, N.P., C.J. Walter & K.M. Leber. 2008. Manipulations of stocking magnitude: addressing density-dependence in a juvenile cohort of common snook (*Centropomus undecimalis*). *Rev. Fish. Sci.* 16: 215-227.

Caballero-Chávez, V. 2011. Reproducción y fecundidad del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en el suroeste de Campeche. *Cienc. Pesq.* 19: 35-45.

Camara, M.R. & M.F. Costa. 2012. Diversity, abundance and seasonal variation of the ichthyofauna associated with shrimp farming in a tropical estuary in northeastern Brazil. *Mar. Biodiv.* 42: 471-479.

Castro-Aguirre, J.L. 1999. Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México. Editorial Limusa S.A. de C.V. 629 pp.

Cerqueira, V.R. & M.Y. Tsuzuki. 2009. A review of spawning induction, larviculture, and juvenile rearing of the fat snook, *Centropomus parallelus*. *Fish Physiol. Biochem.* 35:17-28.

Chavez, H. 1961. Estudio de una nueva especie de róbalo del Golfo de México y redescrición de *Centropomus undecimalis* (Bloch) (Pisces, Centropomidae) *Ciencia* 21(2): 75-83.

Coates, A.G., J.B.C. Jackson, L.S. Collins, T.M. Cronin, H.J. Dowset, L.M. Bybell, P. Jung & J.A. Obando. 1992. Closure of the Isthmus of Panama: The near-shore marine record of Costa Rica and western Panama. *Bull. Geol. Soc. America* 104: 814-828.

Cooke, R.G. & G. Tapia R. 1994. Marine and freshwater fish amphidromy in a small tropical river on the Pacific coast of Panama: a

preliminary evaluation based on gill-net and hook-and-line captures. En: W. van Neer (editor), Fish Exploitation in the Past. Annales du Musée Royale de l'Afrique Centrale, Sciences Zoologiques 274: 99-106.

Crow, K.D., H. Munehara, & G. Bernardi. 2010. Sympatric speciation in a genus of marine reef fishes. Mol. Ecol. 19: 2089-2105.

D'Anatro, A., A.N. Pereira & E.P. Lessa. 2011. Genetic structure of the white croaker, *Micropogonias furnieri* Desmarest 1823 (Perciformes: Sciaenidae) along Uruguayan coasts: contrasting marine, estuarine, and lacustrine populations. Environ. Biol. Fish. 91: 407-420.

Díaz-Jaimes, P., E. Sandoval-Castellanos & M. Uribe-Alcocer. 2007. Comparative population structure of three snook species (Teleostei: Centropomidae) from the eastern central Pacific. Ichthyl. Res. 54: 380-387.

Dsikowitzky, L., I. Nordhaus, T.C. Jennerjahn, P. Khrycheva, Y. Sivatharshan, E. Yuwono & J. Schwarzbauer. 2011. Anthropogenic organic contaminants in water, sediments and benthic organisms of the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. Mar. Poll. Bull. 62: 851-862.

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados. Parte 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Fluker, B.L., F. Pezold & R.L. Minton. 2011. Molecular and morphological divergence in the inland silverside (*Menidia beryllina*) along a freshwater-estuarine interface. Environ. Biol. Fish. 91: 311-325.

Fraser, T.H. 1968. Comparative osteology of the Atlantic snooks (Pisces, *Centropomus*). Copeia 1968: 433-460.

Gilmore, R.G., C.J. Donohoe & D.W. Cooke. 1983. Observations on the distribution and biology of east-central Florida populations of the

common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch). Florida Scientist 46: 313-336.

González-Wangüemert, M. & Á. Pérez-Ruzafa. 2012. In two waters: contemporary evolution of lagoonal and marine white seabream (*Diplodus sargus*) populations. Mar. Ecol. 33: 337-349.

Greewood, P.H. 1976. A review of the family Centropomidae (Pisces, Perciformes). Bull. Br. Mus. Nat. Hist. 29: 1-81.

Grilo, C.F., R.R. Neto, M.A.Vicente, E.V.R. de Castro, R.C.L. Figueira & R.S. Carreira. 2013. Evaluation of the influence of urbanization processes using mangrove and fecal markers in recent organic matter in a tropical tidal flat estuary. Appl. Geochem. 38: 82-91.

Hendrickx, M.E., J. Salgado-Barragan & M.A. Meda-Martinez. 1996. Abundance and diversity of macrofauna (fish and decapod crustaceans) in *Penaeus vannamei* culture ponds in western Mexico. Aquacult. 143: 61-73.

Hopkins, J.S., P.A. Sandifer, M.R. DeVoe, A.F. Holland, C.L. Browdy & A.D. Stokes. 1995. Environmental impacts of shrimp farming with special reference to the situation in the continental United States. Estuar. 18: 25-42.

Jennerjahn, T.C. 2012. Biogeochemical response of tropical coastal systems to present and past environmental change. Earth Sci. Rev. 114: 19-41.

Kirschbaum, A.A., R. Seriani, C.D.S. Pereira, A. Assunção, D.M. Souza Abessa, M.M. Rotundo & M.J.T. Ranzani-Paiva. 2009. Cytogenotoxicity biomarkers in fat snook *Centropomus parallelus* from Cananéia and São Vicente estuaries, SP, Brazil. Genet. Mol. Biol. 32: 151-154.

Lewis, M., R. Pryor & L. Wilking. 2011. Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: a review. Environ. Poll. 159: 2328-234.

Lorán-Núñez, R.M., R.F. Martínez-Isunza, A.J. Valdez-Guzmán, M. Garduño-Dionate & E.R. Martínez-Lorán. 2012. Reproducción y madurez sexual de robalo prieto (*Centropomus poeyi*) y robalo blanco (*C. undecimalis*) en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz (2005-2007). Cienc. Pesq. 20: 49-64.

Lozano, G.E. & C.W. Olaya-Nieto. 2004. Reproductive aspects of common snook (*Centropomus undecimalis*) in the Cispata bay, Colombia. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 55: 1029-1030.

Lowerre-Barbieri, S.K., F.E. Vose & J.A. Whittington. 2003. Catch-and-release fishing on a spawning aggregation of common snook: does it affect reproductive output. Trans. Amer. Fish. Soc. 132: 940-952.

Maldonado-García, M., V. Gracia-López, M. Carrillo, A. Hernández-Herrera & C. Rodríguez-Jaramillo. 2005. Stages of gonad development during the reproductive cycle of the blackfin snook, *Centropomus medius* Günther. Aquacult. Res. 36: 554-563.

Marviva. 2011. Compendio de normas pesqueras de la República de Panamá. Fundación Marviva, Panamá, 46p.

McMichael, R.H., K. Jr. Peters & G. Parsons. 1989. Early life history of the snook *Centropomus undecimalis* in Tampa Bay, Florida. Northeast Gulf Sci. 10: 113-325.

Meek, S.E. & S.F. Hildebrand. 1925. The marine fishes of Panama. Field Mus. Nat. Hist. Publ. Zool. Ser. 15: 331-707.

Moreira, L.B., M.A. Hortellani, J.E. Sarkis, L.V. Costa-Lotufo & D.M.S. Abessa. 2012. Contamination of port zone sediments by metals from large marine ecosystem of Brazil. Mar. Poll. Bull. 64: 479-488.

Muhlia-Melo, A., J. Arvizu-Martínez, J. Rodríguez-Romero, D. Guerrero-Tortolero, F.J. Gutiérrez-Sánchez & A. Muhlia-Almazán. 1995. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural a cerca de los robalos del género *Centropomus* en México. Programa de Evaluación de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones

Biológicas del Noreste, S. C. Volumen Especial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S. C. La Paz. 52 pp.

Munday, P.L., L.V. Herwerden & C.L. Dudgeon. 2004. Evidence for sympatric speciation by host shift in the sea. *Curr. Biol.* 14: 1498-1504.

Osorio, J. & L. González. 1986. Aspectos reproductivos del robalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) (Pisces: Centropomidae) de la Isla Margarita, Venezuela. *Contrib. Cient. Cent. Investig. Cient., Univ. Oriente* 9: 1-35.

Perera-Garcia, M.A., W. Contreras-Sánchez, M. Huerta-Ortiz & E. Pérez-Sánchez. 2011. Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. *Rev. Biol. Trop.* 59(2): 669-681.

Perera-Garcia, M.A., M. Mendoza-Carranza, W. Contreras-Sánchez, A. Ferrara, M. Huerta-Ortiz & R.E. Hernández-Gómez. 2013. Comparative age and growth of common snook *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae) from coastal and riverine areas in Southern Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 61(2): 807-819.

Prodócimo, V., M.K. Tschá, M.R. Pie, J.F. Oliveira-Neto, A. Ostrensky, & W.A. Boeger. 2008. Lack of genetic differentiation in the fat snook *Centropomus parallelus* (Teleostei: Centropomidae) along the Brazilian coast. *J. Fish Biol.* 73: 2075-2082.

Restrepo, J.D. & A. Kettner. 2012. Human induced discharge diversion in a tropical delta and its environmental implications: the Patía River, Colombia. *J. Hydrol.* 424-425: 124-142.

Richards, C.L., J.P. Wares, & J.A. Mackie. 2010. Evaluating adaptive processes for conservation and management of estuarine and coastal resources. *Estuar. Coast.* 33: 805-810.

Rivas, L.R. 1986. Systematic review of the perciform fishes of the genus *Centropomus*. *Copeia* 1986: 576-611.

Robertson, D.R. & G.R. Allen. 2006. Shorefishes of the tropical eastern Pacific: an information system. Version 2. DVD-ROM. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama.

Robles, Y. & A.J. Vega. 2004. Caracterización físico, química y biológica de la parte media-baja del Río Santa María, Veraguas, Panamá. *Tecnociencia (Panamá)* 6(2): 75-89.

Rocha, L.A., D.R. Robertson, J. Roman & B. Bowen. 2005. Ecological speciation in tropical reef fishes. *Proc. Royal Soc. B* 272: 573-579.

Rocha, L.A., K.C. Lindeman, C.R. Rocha & H.A. Lessios. 2008. Historical biogeography and speciation in the reef fish genus *Haemulon* (Teleostei: Haemulidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 48: 918-928.

Samocha, T.M., I.M. Lopez, E.R. Jones, S. Jackson & A.L. Lawrence. 2004. Characterization of intake and effluent waters from intensive and semi-intensive shrimp farms in Texas. *Aquacult. Res.* 35: 321-339.

Seriani, R., D.M. de S. Abessa, D.S. Camilo, A.A. Pereira, A. Assunção, Kirschbaum & M.T. Ranzani-Paiva. 2013. Influence of seasonality and pollution on the hematological parameters of the estuarine fish *Centropomus parallelus*. *Braz. J. Oceanogr.* 61: 105-111.

Stevens, P.W., D.A. Blewett & G.R. Poulakis. 2007. Variable habitat use by juvenile common snook, *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae): applying a life-history model in a southwest Florida estuary. *Bull. Mar. Sci.* 80: 93-108.

Taylor, G.R., J.A. Wittington & H.J. Grier. 2000. Age growth, maturation and protandric sex reversal in the common snook *Centropomus undecimalis*, from the east and west coasts of south Florida. *Fish. Bull.* 98: 612-624.

Tringali, M.D., T.M. Bert & S. Seyoum. 1999a. Genetic identification of Centropominae fishes. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 128: 446-458.

Tringali, M.D., T.M. Bert, S. Seyoum, E. Bermingham & D. Bartolacci. 1999b. Molecular phylogenetics and ecological

diversification of the trans-isthmian fish genus *Centropomus* (Perciformes: Centropomidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 13: 193-207.

Tringali, M.D. & K.M. Leber. 1999. Genetic considerations during the experimental and expanded phases of snook stock enhancement. *Bull. Nat. Res. Inst. Aquacult.* 1: 109-119.

Tobias, W.J. 2001. Mangrove habitat as nursery grounds for recreationally important fish species-great pond, St. Croix, USA. virgin islands. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.* 52: 468-487.

Valiela, I., L. Camilli, T. Stone, A. Giblin, J. Crusius, S. Fox, C. Barth-Jensen, R.O. Monteiro, J. Tucker, P. Martinetto & C. Harris. 2012. Increased rainfall remarkably freshens estuarine and coastal waters on the Pacific coast of Panama: magnitude and likely effects on upwelling and nutrient supply. *Global Planet. Change* 92-93: 130-137.

Valiela, I., A. Giblin, C. Barth-Jensen, C. Harris, T. Stone, S. Fox & J. Crusius. 2013. Nutrient gradients in Panamanian estuaries: effects of watershed deforestation, rainfall, upwelling, and within-estuary transformations. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 482: 1-15.

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

Vergara-Chen, C., W.E. Aguirre, M. González-Wangüemert & E. Bermingham. 2009. A mitochondrial DNA based phylogeny of weakfish species of the *Cynoscion* group (Pisces: Sciaenidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 53: 602-607.

Vergara-Chen, C., M. González-Wangüemert, C. Marcos & A. Pérez-Ruzafa. 2010a. High gene flow promotes the genetic homogeneity of *Pomatoschistus marmoratus* (Risso 1810) from Mar Menor coastal lagoon and adjacent marine waters (Spain). *Mar. Ecol.* 31: 270-275.

Vergara-Chen, C., M. González-Wangüemert, C. Marcos & A. Pérez-Ruzafa. 2010b. Genetic diversity and connectivity remain high in *Holothuria polii* (Delle Chiaje 1823) across a coastal lagoon-open sea environmental gradient. *Genetica* 138: 895-906.

Vergara-Chen, C., M. González-Wangüemert, C. Marcos & A. Pérez-Ruzafa. 2013. Small-scale genetic structure of *Cerastoderma glaucum* in a lagoonal environment: potential significance of habitat discontinuity and unstable population dynamics. *J. Moll. Stud.* 79(3): 230-240.

Wallace, R.A., S.M. Boyle, H.J. Grier, K. Selman & T.R. Petrino. 1993. Preliminary observations on oocyte maturation and other aspects of reproductive biology in captive female snook, *Centropomus undecimalis*. *Aquacult.* 116(2-3): 257-273.

Watts, R.J. & M.S. Johnson. 2004. Estuaries, lagoons and enclosed embayments: habitats that enhance population subdivision of inshore fishes. *Mar. Freshwat. Res.* 55: 641-651.

Yanes Roca, C. & K.L. Main. 2012. Improving larval culture and rearing techniques on common snook (*Centropomus undecimalis*). En: Muchlisin, Z. (Ed.). *Aquaculture*. InTech. Available from: <http://www.intechopen.com/books/aquaculture/improving-larval-culture-and-rearing-techniques-on-common-snook-centropomus-undecimalis>. ISBN: 978-953-307-974-5.

Zarza-Meza, E.A., J.M. Berruecos-Villalobos, C. Vásquez-Peláez & P. Álvarez-Torres. 2006a. Cultivo experimental de robalo *Centropomus undecimalis* y chucumite *Centropomus parallelus* (Perciformes: Centropomidae) en estanques rústicos de tierra. *Cienc. Mar.* 32: 219-227.

Zarza-Meza, A.E., J.B. Villalobos, C.P. Vásquez & P.T. Álvarez. 2006b. Cultivo experimental del robalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) y chucumite *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) (Perciformes: Centropomidae) en agua dulce en un estanque de concreto en Alvarado, Veracruz, México. *Veterinaria México* 37: 327-333.

Recibido febrero de 2014, aceptado abril de 2014.



TABLA DE VIDA DE FERTILIDAD DE *Trichogramma pretiosum* RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE), CRIADO EN HUEVOS DE *Anticarsia gemmatalis* HÜBNER, 1818 (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE)

¹Bruno Zachrisson; ²José Roberto Postali Parra

¹Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro de Investigación Agropecuaria Oriental "Dr. Alberto Perdomo",
e-mail: bruno.zachrissons@idiap.gob.pa., ²Universidad de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

RESUMEN

Se determinó el potencial biológico de *T. pretiosum*, criado en huevos de *A. gemmatalis*, en diferentes temperaturas, por medio de la tabla de vida de fertilidad. Los experimentos fueron realizados en cámaras bioclimáticas reguladas a 18, 20, 22, 25, 28, 30 y 32 °C, con humedad relativa de 70 ± 10% y fotofase de 14 horas. Los parámetros de R_0 , r_m y λ , confirmaron que las temperaturas óptimas de multiplicación de *T. pretiosum*, fueron registradas entre 25 °C y 30 °C. La adaptación de *T. pretiosum*, a este rango de temperatura y al huésped utilizado, garantiza el éxito del sistema de multiplicación, en condiciones controladas.

PALABRAS CLAVES

Control biológico, *Anticarsia gemmatalis*, *Trichogramma pretiosum*, tablas de vida de fertilidad.

ABSTRACT

The biological potential of *Trichogramma pretiosum* reared on eggs of *Anticarsia gemmatalis* eggs, at different temperatures, by means of the fertility life table was determined. The experiment was performed in climate chambers regulated at 18, 20, 25, 28, 30 and 32 °C, at a 70 ± 10% relative humidity and 14 hours of photophase. The parameters of R_0 , r_m and λ , confirmed that the optimum temperatures of *T. pretiosum* multiplication were recorded between 25 °C and 30 °C. The adaptation of

T. pretiosum, at this temperature range and host utilized, ensuring the success of the propagation system under controlled conditions.

KEYWORDS

Biological control, *Anticarsia gemmatalis*, *Trichogramma pretiosum*, fertility life table.

INTRODUCCIÓN

Anticarsia gemmatalis Hübner es considerado como el principal insecto defoliador de importancia económica, en el cultivo de soya (*Glicine max* L.), con una amplia distribución que abarca desde el Sur de los Estados Unidos hasta Argentina (Turnipseed & Kogan, 1976; King & Saunders, 1984). La reducción de la superficie foliar, entre el 15 y 30%, en la etapa vegetativa del cultivo, resulta en mermas significativas en los rendimientos del cultivo (Gazzoni *et al.*, 1981). Por esta razón, en la década de 1980, se implementó un programa de manejo enfocado a reducir la población de *A. gemmatalis*, por medio de aplicaciones de *Baculovirus anticarsia* (AgNPV) (Panizzi, 2013). Durante este período la superficie aplicada con *B. anticarsia* (AgNPV), abarcó 1.6 millones de hectáreas de soya (Moscardi & Souza, 2002). Sin embargo, a partir del 2002, la aparición de la "roya de la soya" (*Phakopsora pachyrhizi*) en Brasil y en América del Sur, provocó pérdidas por más de 25 millones de dólares (Yorinori *et al.*, 2003), por lo que la aplicación intensiva de fungicidas, como método unilateral para manejar la enfermedad, contrarrestó la eficiencia de *B. anticarsia* (AgNPV). Esto motivó la implementación de otras alternativas para reducir la población de *A. gemmatalis* (Sosa-Gómez, 2006). De esta manera, la utilización de *Trichogramma* fue la opción de manejo recomendada, cuya implementación se sustentó en la estabilidad agro ecológica y la compatibilidad con el manejo integrado del cultivo de soya.

Las especies de *Trichogramma* reportadas para América del Sur, están asociadas a 42 huéspedes, en su mayoría huevos de las plagas del orden Lepidóptera (Zucchi & Montero, 1997). Las liberaciones anuales de diversas especies de *Trichogramma*, se realizan en más de 16 millones de hectáreas de cultivos anuales y perennes, registrando

resultados que garantizan la rentabilidad del cultivo (Parra & Zucchi, 2004). Actualmente, *Trichogramma pretiosum* es la especie con mayor representatividad en los programas de control biológico aplicado en el continente (Zucchi & Montero, 1997). La calidad del huésped del parasitoide, dependiendo de la especie de la plaga, puede influir en la capacidad de parasitismo de *Trichogramma* (Prezotti & Parra, 2002; Parra & Zucchi, 2004; Dias *et al.*, 2010). Las tablas de vida de fertilidad, son herramientas importantes para evaluar el desempeño biológico de los insectos, frente a las diferentes variables bióticas y abióticas (Silvera Neto *et al.*, 1976; Pratisoli *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2006; Zago *et al.*, 2007; Meira *et al.*, 2009). La tasa de mortalidad y la esperanza de vida, son parámetros biológicos que permiten entender la dinámica poblacional del insecto, las cuales se reflejan en la tabla de vida de fertilidad (Silvera Neto *et al.*, 1976). Por ello, este trabajo tuvo como objetivo determinar el potencial biológico de *T. pretiosum*, criados en huevos de *A. gemmatalis*, en diferentes temperaturas, por medio de la tabla de vida de fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La raza de *T. pretiosum* utilizada en el estudio, fue recolectada en huevos de *A. gemmatalis*, en las localidades de Lapa, Paraná, Brasil, la cual se multiplicó, en condiciones controladas de laboratorio, siguiendo el método establecido por Stein & Parra (1987) y Parra *et al.* (1989). Los huevos de *A. gemmatalis* se obtuvieron a partir de poblaciones de adultos, criados en la dieta artificial propuesta por Greene *et al.* (1976) y preparada de acuerdo con el método presentado por Parra (1996).

Los huevos de *A. gemmatalis*, fueron retirados del sustrato de oviposición (papel "Bond") y recogidos en un vaso químico cubierto en su interior con un tejido de organza. Este procedimiento tuvo como finalidad, mantener la calidad de los huevos de *A. gemmatalis*, registrando la humedad relativa próxima al punto de saturación, para evitar la sequedad de los mismos.

Los huevos de *A. gemmatalis*, debidamente conservados, se colocaron en una lámina rectangular de plástico (5.0 cm x 1.5 cm), la cual se mantuvo previamente en el congelador durante 10 minutos, lo que permitió la formación de una capa húmeda producto de la

condensación del agua. Esto posibilitó la fijación de los huevos de *A. gemmatalis*, sobre la superficie (Bleicher & Parra, 1989). Posteriormente, 50 huevos de *A. gemmatalis* se sometieron al parasitismo de *T. pretiosum*, durante un período de cinco horas, en cámaras bioclimáticas con condiciones abióticas constantes (25 °C de temperatura, humedad relativa de $70 \pm 10\%$ y fotofase de 14 horas), para luego transferirlas a cámaras bioclimáticas reguladas a las temperaturas seleccionadas (18, 20, 22, 25, 28, 30 y 32 °C), proceso que fue realizado simultáneamente.

Las variables biológicas necesarias para construir la tabla de vida de fertilidad, fueron: a) " x " considerado el punto medio de cada edad de las hembras, b) " l_x " que es la expectativa de vida hasta la edad x de las hembras, c) " m_x " que determina el número de descendientes por hembra, que originaran hembras de edad x , d) " $l_x m_x$ " que define el número total de hembras nacidas en la edad x . Posteriormente, se determinaron los parámetros, que componen la tabla de vida de fertilidad: a) tasa líquida de reproducción (R_0), b) razón infinitesimal de aumento (r_m), c) razón finita de aumento (λ), d) duración promedio de una generación (T) (Southwood & Henderson, 2000) (Cuadro 1).

El diseño experimental considerado en el estudio, fue completo al azar. Los parámetros que componen la tabla de vida de fertilidad, fueron comparados entre las siete temperaturas evaluadas (18 a 32 °C), a través de la prueba unilateral de " t " al 5% de probabilidad, descrita por Maia *et al.* (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tasa de líquida de reproducción (R_0), permite evaluar la adaptación de *T. pretiosum*, tanto a condiciones bióticas y abióticas, representando el número de veces que la población del parasitoide, puede multiplicarse en una generación. Los mayores valores de R_0 , fueron encontrados entre 25 °C y 30 °C, mostrando valores estadísticamente semejantes ($P \leq 0.05$), en este intervalo de temperatura (Cuadro 2). Estos resultados indican que el mayor potencial de producción de hembras de *T. pretiosum*, se presenta en este rango de temperatura, lo cual contribuye a la optimización de los programas de control

biológico, siempre que las hembras son las responsables por el parasitismo en la fase de huevo de las plagas "objeto de control".

La razón infinitesimal de aumento (r_m), fue directamente proporcional al incremento de la temperatura, entre los 18 y 32°C (Cuadro 2). Andrewartha & Birch (1954), afirman que valores elevados de r_m , confirman mayor capacidad de adaptación del parasitoide, a las diversas variables bióticas y abióticas, reportadas en los diferentes agro ecosistemas. Los resultados de r_m , obtenidos a 28 °C y 30 °C, fueron estadísticamente semejantes entre sí ($P \leq 0.05$), lo que demuestra que este rango de temperatura, se reportaron las mejores condiciones para la multiplicación de *T. pretiosum*.

La razón finita de aumento (λ), indicó que el mayor número de hembras de *T. pretiosum* incorporadas a la población, se obtuvieron entre las temperaturas de 25 °C y 30 °C (Cuadro 2). Algunos autores, sustentaron que variables como la temperatura y la calidad del huésped, en este caso los huevos de *A. gemmatilis*, influyen sobre este parámetro (λ) (Scholler & Hassan, 2001; Pratissoli *et al.*, 2004; Zago *et al.*, 2007).

La duración media de cada generación (T) de *T. pretiosum*, criado en huevos de *A. gemmatilis*, presentó una relación inversa con el aumento de la temperatura, variando entre 28.15 y 9.54 días, a 18 °C y 32 °C , respectivamente (Cuadro 2). Los resultados obtenidos (Cuadro 2), fueron confirmados por diversos autores, cuando se evaluó este parámetro (T) en diferentes especies y razas de *Trichogramma* (Pratissoli *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007; Zago *et al.*, 2007; Dias *et al.*, 2010). La reducción del ciclo biológico del parasitoide, en función del aumento de la temperatura, propició la obtención de mayor cantidad de estos, en un período menor de tiempo, lo que favoreció el sistema de producción masiva (Dias *et al.*, 2010).

El análisis de los parámetros de R_o , r_m y λ , confirmaron que las mejores condiciones de multiplicación de *T. pretiosum*, se registraron entre las temperaturas de 25 °C y 30 °C. La variación de temperatura, influyó en el desempeño biológico de *T. pretiosum* (Cuadro 2), promoviendo la optimización del sistema de producción de *T. pretiosum*, en el rango de temperatura comprendido entre 25 °C y 30 °C (Pratissoli & Parra, 2000; Pratissoli *et al.*, 2004; Zago *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Descripción matemática de las fórmulas de la tasa líquida de reproducción (R_o), razón infinitesimal de aumento (r_m), razón finita de aumento (λ), duración promedio de una generación (T), componentes de la tabla de vida de fertilidad.

Variable	Fórmula
R_o (Tasa líquida de reproducción)	$\sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$
R_m (Razón infinitesimal de aumento)	$\sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x e^{r_m x} = 1$
λ (Razón finita de aumento)	$-e^{r_m}$
T (Duración promedio de una generación)	$\sum_{x=0}^{\infty} x l_x m_x / \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$

(Soutwood & Henderson, 2000)

Cuadro 2. Duración promedio de una generación (T), tasa líquida de reproducción (R_o), razón infinitesimal de aumento (r_m) y razón finita de aumento (λ), de *Trichogramma pretiosum*, criada en huevos de *Anticarsia gemmatalis*, en diferentes temperaturas. HR: $70 \pm 10\%$ e fotofase de 14 horas.

Temperatura (°C)	R_o	r_m	T (días)	λ
18	33.28 c ¹ (28.15-37.48)	0.1229 e (0.1211-0.1236)	28.15 e (28.07-29.32)	1.131 b (1.113-1.236)
20	33.73 c (31.62-39.81)	0.1846 d (0.1831-0.1851)	19.05 d (18.97-19.78)	1.203 b (1.185-1.216)
22	44.76 b (41.26-47.93)	0.2283 d (0.2279-0.2389)	16.65 d (15.57-16.93)	1.256 b (1.209-1.273)
25	68.38 a (65.63-73.01)	0.2861 c (0.2857-0.2873)	14.62 c (13.53-14.78)	1.331 a (1.304-1.491)
28	71.91 a (66.78-73.19)	0.3777 a (0.3589-0.3951)	11.32 a (10.28-12.45)	1.459 a (1.438-1.493)
30	67.15 a (63.09-67.34)	0.3940 a (0.3928-0.3953)	10.67 a (9.92-10.52)	1.483 a (1.452-1.196)
32	52.15 b (47.89-53.26)	0.4143 b (0.4156-0.4172)	9.54 b (9.38-10.07)	1.153 b (1.132-1.229)

¹Médias seguidas de la misma letra, entre las columnas, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de "t" (por pares de comparación), a 5% de probabilidad.

CONCLUSIÓN

El elevado potencial reproductivo de *T. pretiosum*, en el huésped natural *A. gemmatilis*, a temperaturas entre 25 °C y 30 °C, garantiza la optimización del sistema de multiplicación del parasitoide, en programas de control biológico.

REFERENCIAS

- Anderwartha, H.G. & L.C. Birch. 1954. The innate capacity for increase in number. *In*: Andrewartha H.G. & L.C. Birch (eds.). The distribution and abundance of animals. Chicago, University of Chicago Press, 793 p.
- Bleicher, E. & J.R.P. Parra. 1989. Espécies de *Trichogramma* parasitóides de *Alabama argillacea*. I. Biologia de três populações. Pesqui. Agropecu. Bras. 25 (2): 215 - 219.
- Gazzoni, D.L., E.B. Oliveira, I.C. Corso, B.S.C. Ferreira, G.L. Villas Bôas, F. Moscardi & A. R. Panizzi. 1981. Manejo de pragas da soja. Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 44 p.
- Green, R.F., N.C. Leppla & W.A. Dickerson. 1976. Veltbean caterpillar a rearing procedure and artificial medium. J. Econ. Entomol. 69 (4): 487-488.
- King, A.B.S. & J.L. Saunders. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales en América Central. Londres, Overseas Development Administration Press. 182 p.
- Dias, N.S., J.R.P. Parra J.R.P. & C.T.S. Dias. 2010. Tabela de vida de fertilidade de três species de Trichogrammatidae em ovos de hospedeiros alternativos como critério de seleção hospedeira. Rev. Bras. Entomol. 54: 120-124.
- Maia, A.H.N., A.J.B. Luiz & C. Campanhola. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. J. Econ. Entomol. 93: 511- 518.

Meira, A.I., D. Pratissoli, R. Polansysk & L. Madgan. 2009. Selección de especies de *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) criadas en los huevos de *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). IDESIA 30: 101-108.

Moscardi, F. & M.L. Souza. 2002. Baculovírus para o controle de pragas: panacea ou realidade? Biotecnología, Ciencia y Desarrollo 24: 22-29.

Oliveira, H.N., D. Pratissoli, C.A. Colombi, R.A. Polanczyk & L. P. Dalvi. 2006. Tabela de vida de *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). IDESIA 25: 73-76.

Panizzi, R.A. 2013. History and contemporary perspective of integrated pest management of soybean in Brazil. Neotrop. Entomol. 42: 119-127.

Parra, J.R.P. 1996. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. Piracicaba, FEALQ. 137 p.

Parra, J.R.P., J.R.S. Lopes, H.J.P. Serra & O. Salles Junior. 1989. Metodologia de criação de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) para produção massal de *Trichogramma* spp. An. Soc. Entomol. Brasil 18: 403-415.

Parra, J.R.P. & R.A. Zucchi. 2004. *Trichogramma* in Brasil: Feasibility of use after twenty years of research. Neotrop. Entomol. 33: 271-281.

Pratissoli, D. & J.R.P. Parra. 2000. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley, criados em duas traças do tomateiro. Pesq. Agropec. Bras. 35(7): 1281-1288.

Pratissoli, D., J.C. Zanuncio, U.R. Vianna, J.S. Andrade, E.M. Guimarães & M.C. Espindula. 2004. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. Pesq. Agropec. Bras. 39: 193-196.

Prezotti, L. & J.R.P. Parra. 2002. Controle de qualidade em criações massais de parasitoides e predadores. In: Parra J.R.P., P.S.M. Bothelo, B.S.C. Ferreira & J.S.M. Bento. Controle biológico no Brasil: Parasitoides e Predadores. São Paulo, Manole. 295-311.

Scholler, M. & S. Hassan. 2001. Comparative biology and life table of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* with *Ephestia elutella* as host at four constant temperatures. Entomol. Exp. Appl. 98: 35-40.

Silvera Neto, S., O. Nakano & N.A. Barbin, N.A. 1976. Villa Nova. Manual de ecología de insetos. São Paulo, Ed. Ceres, 419 p.

Sosa-Gomez, D.R. 2006. Seletividade de agroquímicos para fungos entomopatogênicos.
http://cnpso.embrapa.br/download/artigos/seletiv_fung.pdf

Southwood, R.R.F. & P.A. Henderson. 2000. Ecological methods. Blackwell Science, Oxford. 575 p.

Stein, C.P. & J.R.P. Parra. 1987. Uso da radiação para inviabilizar ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. An. Soc. Entomol. Brasil 16: 229-231.

Turnipseed, S.G. & M. Kogan. 1976. Soybean entomology. Ann. Rev. Entomol. 21: 247-282.

Yorinori, T., W. Morel Paiva, L. Costamilan & P. Bertognolli. 2003. Ferrugem da Soja: Identificación e controle. Documentos 204. Londrina, Pr., Brasil.

Zago, H.B., D. Pratissoli, R. Barros, M.G.C. Gondin Jr. & H.J.G. Santos Jr. 2007. Capacidade de parasitismo de *Trichogramma pratissoli* Querino & Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em hospedeiros alternativos, sob diferentes temperaturas. Neotrop. Entomol. 36: 84-89.

Zucchi, R.A. & R. Montero. 1997. O gênero *Trichogramma* na América do Sul. In: Parra, J.R.P. & R.A. Zucchi (eds.). *Trichogramma* e o controle biológico aplicado. Piracicaba, FEALQ. 354 p.

Recibido diciembre de 2013, aceptado mayo de 2014.



CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL GÉNERO *ULOCERUS* (SCHOENHERR, 1823) (COLEOPTERA: BRENTIDAE: ULOCERINAE) EN PANAMÁ

Alfredo Lanuza-Garay^{1,2,3} y Ursula Vargas-Cusatti¹

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón, Departamento de Zoología, Panamá, Rep. de Panamá.

Smithsonian Tropical Research Institute, Punta Galeta Marine Laboratory, Apartado Postal 0843-03092. Panamá, Rep. de Panamá.

Universidad de Panamá. Programa Centroamericano de Maestría en Entomología. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Estafeta Universitaria, Universidad de Panamá. E-mail: alfredo.lanuza26@gmail.com

RESUMEN

Este artículo enlista las especies del género *Ulocerus* (Schoenherr, 1823) presentes en el país, de las cuales cinco son nuevos reportes para Panamá: *Ulocerus albiornatus* Izecksohn, 1962; *Ulocerus laticornis* Sharp, 1895; *Ulocerus damnosus* Damoiseau, 1962; *Ulocerus longirostris* Izecksohn, 1963 y *Ulocerus recticauda* Senna, 1896. La taxonomía, diagnóstico, ubicación de los materiales tipo, distribución geográfica, biología, ubicación del material revisado y otros elementos relevantes de cada una de las especies ha sido compendiada y catalogada.

PALABRAS CLAVES

Ulocerus, Taxonomía, Morfología, Distribución.

ABSTRACT

This article lists the species of *Ulocerus* (Schoenherr, 1823) in Panamá; five of them are reported for first time in Panamá: *Ulocerus albiornatus* Izecksohn, 1962; *Ulocerus laticornis* Sharp, 1895, *Ulocerus damnosus* Damoiseau, 1962; *Ulocerus longirostris* Izecksohn, 1963 and *Ulocerus recticauda* Senna, 1896. Their taxonomy, diagnosis, type depositories, geographical distribution, biology, examined material

depositories and other relevant elements of each one mentioned species has been compiled and catalogued.

KEYWORDS

Ulocerus, Taxonomy, Morphology, Distribution.

INTRODUCCIÓN

El género Neotropical *Ulocerus* (Schoenherr, 1823) (Coleoptera: Brentidae) es representado por unas 26 especies caracterizado por la presencia de densas escamas que cubren la superficie corporal, dándole de esta forma una apariencia singular respecto a otras especies de Brentidae. A finales del siglo XIX se realizaron trabajos taxonómicos importantes, los cuales aún siguen vigentes (Schoenherr, 1840; Sharp, 1895; Senna, 1896).

Para la década del sesenta se realizaron nuevos aportes al conocimiento de este género; Haedo Rossi (1961) en Argentina, comentó sobre la taxonomía y distribución de *Ulocerus immundus* y *Ulocerus squalidus*; Damoiseau (1962) basado en material colectado en diferentes departamentos del Brasil describe a *Ulocerus damnosus* y *Ulocerus amazonicus*, mientras que Izecksohn (1962 y 1963) describe las especies *Ulocerus albiornatus*, *Ulocerus longirostris*, *Ulocerus urocerophorus* y *Ulocerus fasciatus* respectivamente. Sin embargo, la taxonomía de este grupo resulta dificultosa, debido al gran parecido morfológico existente entre muchas de las especies descritas, lo que puede llevarnos a determinaciones erróneas (Bartolozzi, 2013 com. per.; Mantilleri, 2013 com. per.).

A la fecha, solo Alonso-Zaragoza & Lyal (1999) y Sforzi & Bartolozzi (2004) han revisado la taxonomía de género, sin embargo a pesar de los esfuerzos taxonómicos previamente citados se desconocen aspectos relevantes de su biología y ecología del grupo.

Este artículo brinda un listado de las especies de *Ulocerus* presentes en Panamá, así como información sobre los hábitat que ocupan y una clave de identificación para cada una de ellas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material revisado pertenece a las siguientes colecciones **MIUP** - Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, Universidad de Panamá; Colección Entomológica, **PCMENT** - Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, Universidad de Panamá. Aun cuando no se tuvo acceso al material tipo de cada una de las especies tratadas en este documento es importante hacer mención de su ubicación actual en las siguientes colecciones: **DZSP** - Departamento de Zoología de Secretaria de Agricultura, São Paulo, Brasil; **IRSNB** - Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruselas, Bélgica; **MZUF** - Museo di Storia Naturale, Sezione di Zoologia "La Specola", Università di Firenze, Italia; **MNRJ** - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil; **BMNH** - The British Museum of Natural History, Londres, Inglaterra; **NHRS** - Naturhistoriska Riksmuseet, Estocolmo, Suecia.

Los especímenes utilizados para este trabajo fueron colectados durante los años 1986 a 1998 en la Isla de Barro Colorado, Parque Natural Metropolitano y Parque Nacional Chagres los cuales forman parte de un corredor biológico natural para muchas especies de la Cuenca del Canal de Panamá, mediante trampas de luz y método manual; dicho material fue revisado e identificado en las instalaciones del Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, Museo de Invertebrados G.B. Fairchild y Laboratorios de la Escuela de Biología del Centro Regional Universitario de Colón, Universidad de Panamá. Las observaciones de los especímenes y las estructuras morfológicas para su correcta identificación se realizó con un estereoscopio Leica modelo GZ-6 con ocular 10x. Las fotografías se realizaron con una cámara Canon modelo SX-500. Para la determinación de los especímenes se utilizaron algunas descripciones publicadas en trabajos de Schoenherr (1840); Senna (1892, 1896); Sharp (1897); Haedo Rossi (1961, 1967); Damoiseau (1962) e Izecksohn (1962 y 1963).

La taxonomía de las especies se basó en la clasificación propuesta por Sforzi & Bartolozzi (2004), siendo las especies aquí presentadas ordenadas alfabéticamente y la información que se brinda de cada una de ellas desglosada de la siguiente manera: autoridad, año y página donde se encuentra la descripción original, sinonimias (autor, año), erratas ortográficas involuntarias [lapsus], diagnosis, ubicación del

material tipo, distribución geográfica, biología, material revisado y en algunos casos notas con información relevante de la especie. La distribución geográfica previa de las especies tratadas están basadas en información publicada por Sharp (1895); Senna (1896); Haedo Rossi (1967); Izecksohn (1962, 1963); Damoiseau (1962) y Sforzi & Bartolozzi (2004). El signo (?) señala tanto las ubicaciones geográficas inciertas así como del material tipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 67 ejemplares de *Ulocerus* fueron revisados, todos identificados hasta nivel específico, para un total de seis especies, cinco de ellas nuevos registros para el país. Los nuevos registros representan la ampliación en la distribución de *U. albiornatus* (Izecksohn, 1962), *U. laticornis* (Sharp, 1895), *U. damnosus* (Damoiseau, 1962), *Ulocerus recticauda* (Senna, 1896) y *U. longirostris* (Izecksohn, 1963), por otra parte solo *U. sordidus* ha sido previamente reportado en Panamá (Sharp, 1895; Wolda *et al.*, 1998; Sforzi & Bartolozzi, 2004).

A pesar de que la literatura no hace mención de los hábitos ecológicos de estas especies, se recabó información suficiente para establecer una asociación de las mismas con plantas que componen el dosel del bosque como *Anacardium excelsum* (Anacardiaceae), o la liana *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae), a los cuales parece estar asociado *U. sordidus*.

Clave para las especies de *Ulocerus* (Schoenherr, 1823) presentes en Panamá

1a. Margen posterior de la interstriae elytral con proyecciones tuberculiformes evidentemente prominentes dirigidas hacia atrás en ángulo oblicuo respecto al ápice de los elytra ***longirostris* Izecksohn, 1963.**

1b. Margen posterior de la interstriae elytral con proyecciones tuberculiformes simples, nunca prominentes..... **2.**

2a. Antenas con el IX segmento tan largo como los dos anteriores combinados; margen posterior de la interstriae elytral con proyecciones dirigidas en ángulo recto hacia atrás..... ***recticauda* Senna, 1896.**

- 2b.** Antenas con el IX segmento antenal más corto que los dos anteriores combinados; margen posterior de la insterstriae elytral dirigidas en ángulo oblicuo hacia atrás..... 3.
- 3a.** Segmentos antenales mesales (III-VII) engrosados, nunca deprimidos.. 4.
- 3b.** Segmentos antenales mesales deprimidos..... 5.
- 4a.** Ultimo segmento antenal no alargado; cabeza corta, tan larga como ancha; metarostrum no reducido; protórax provisto de engrosamientos cerdosos lateralmente..... **sordidus Sharp, 1895.**
- 4b.** Ultimo segmento antenal alargado; cabeza apenas más larga que ancha; metarostrum ligeramente convexo, protórax provisto de engrosamientos cerdosos en la región mesal y lateral..... **damnosus Damoiseau, 1962.**
- 5a.** Declive elytral provisto de proyecciones tuberculiformes alargados, erectos; coloración corporal grisácea; cabeza desprovista de escamas negras..... **laticornis Sharp, 1895.**
- 5b.** Declive elytral provisto de proyecciones tuberculiformes cortos; coloración corporal fundamentalmente castaño-claro; cabeza cubierta de escamas negras.....**albiornatus Izecksohn, 1962.**

***Ulocerus laticornis* Sharp, 1895 (Fig. 1)**

Ulocerus laticornis Sharp, 1895. Biol. Centr. Amer. 4(6): 79. BMNH (Lectotipo, Paralectotipo).

Diagnosis: Esta especie difiere de *U. albiornatus* por la coloración grisácea de la superficie dorsal; declive elytral provisto de proyecciones tuberculiformes alargados, erectos, proyectados hacia atrás.

Distribución: Nicaragua; Brasil, Colombia (Sharp, 1895; Senna, 1896; Sforzi & Bartolozzi, 2004) y Panamá. Primer registro para Panamá.

Biología: Habitante del dosel (lianas y árboles).

Material examinado: Parque Natural Metropolitano, 29 noviembre 1997, H. Barrios, Manual, 1 (♂) (PCMENT).

***Ulocerus albiornatus* Izecksohn, 1962 (Fig. 2)**

albiornatus Izecksohn, 1962. Bol. Museu Nac. Rio de Janeiro, (237): 3. DZSP (Holotipo).

Diagnosis: *Ulocerus albiornatus* y *U. laticornis* conforman un grupo que se caracteriza de otras especies de *Ulocerus* en Panamá por el III, IV y V segmentos antenales deprimidos y dilatados; metarostrum más largo que ancho; proyecciones tuberculiformes en el declive elytral cortos (en *U. laticornis* alargados, erectos, proyectados hacia atrás).

Distribución: Brasil (Izecksohn, 1962; Sforzi & Bartolozzi, 2004) y Panamá. Primer registro de esta especie en Panamá.

Biología: Habitante del dosel (lianas y árboles).

Material examinado: Parque Natural Metropolitano, 29 noviembre 1997, H. Barrios, Manual, 1 (♂) (PCMENT).

***Ulocerus longirostris* Izecksohn, 1963 (Fig. 3).**

longirostris Izecksohn, 1963. Rev. Brasil. Biol. 23 (4): 416. MNRJ (Campos Seabra Col.) (Holotipo, Alotipo).

Diagnosis: Cabeza un poco más larga que ancha, más ensanchada en la región mesal, estrechándose basalmente; Protorax obsoletamente trisulcado, estrechado en el apice, ensanchándose hacia la porción mesal con proyecciones laterales evidentes, estrechándose basalmente; elytra 2.5 veces la longitud del protórax, patrón de coloración castaño-claro, dando una impresión uniforme; margen posterior de la interestria sutural en los elytra evidentemente prominente dirigidas en ángulo oblicuo hacia atrás.

Distribución: Brasil (Izecksohn, 1963; Sforzi & Bartolozzi, 2004) y Panamá. Primer reporte para Panamá.

Biología: Desconocida, posible habitante del dosel.

Material examinado: Isla de Barro Colorado, trampa de luz, 29 octubre-4 noviembre 1986, 1 (♂) (PCMENT); mismos datos pero: 26

octubre-1 noviembre 1988, 1 (♂) (PCMENT); 6-12 julio 1988, 1 (♀) (PCMENT); 18-24 mayo 1988, 1 (♀) (PCMENT); 26-31 marzo 1987, 1 (♂) (PCMENT); 15-21 mayo 1988, 1 (♂) (PCMENT); 20-25 mayo 1992, 1 (♂) (PCMENT); 8-14 junio 1988, 1 (♀) (PCMENT); 25-31 abril 1988, 2 (♂) (PCMENT); 11-17 mayo 1988, 1 (♂) (PCMENT); El Valle de Antón, Hotel Campestre, 9 junio 2000, B. K. Eya, 1 individuo (MIUP).

Nota: *Ulocerus longirostris* recibe este nombre por las dimensiones del rostrum, semejante a dos especies netamente suramericanas *Ulocerus immundus* Dalman y *Ulocerus rostratus* Senna.

Ulocerus damnosus Damoiseau, 1962 (Fig. 4)

damnosus Damoiseau, 1962. Bull. Int. Ro. Scie. Nat. Belgique 38 (26): 23. IRSNB (Holotipo)

Diagnosis: Antennae con los segmentos I-V castaño-oscuro; base del protórax sinuado, proyecciones setiformes en su área mesal y lateral; declive elytral provisto de tubérculo escamiforme ligeramente romo.

Distribución: Brasil (Damoiseau, 1962; Sforzi & Bartolozzi, 2004) y Panamá. Primer registro para Panamá.

Biología: Desconocida, probable habitante del dosel.

Material examinado: Isla de Barro Colorado, trampa de luz, 25-31 marzo 1987, 1 individuo (PCMENT); mismos datos pero: 22-28 abril 1987, 1 individuo (PCMENT); 1-7 abril 1988, 1 individuo (PCMENT); 29 abril 1992, 1 (♂) (PCMENT); 29 abril – 5 mayo 1992, 2 (♂) (PCMENT).

Nota: Bastante cercano a *U. sordidus* de acuerdo a Damoiseau (1962), difiere de este principalmente por la presencia de proyecciones setiformes en el protórax tanto dorsal como lateralmente (*U. sordidus* protórax con proyecciones laterales únicamente); de igual manera describe la coloración de *U. damnosus* como grisácea, sin embargo en la colección del PCMENT encontramos especímenes con coloración

castaño-grisáceo, coincidiendo parcialmente con lo descrito por dicho autor.

***Ulocerus recticauda* Senna, 1896 (Fig. 5)**

recticauda Senna, 1896. Ann. Soc. Entomol. Belgique, 40: 199. MZUF (Holotipo, Paratipo), NHM (♂?) (Paratipo), NHRS (♂?) (Paratipo).

reticauda Haedo Rossi, 1967. Acta Zool. Lilloana 22: 173 (*Ulocerus*) [lapsus].

Diagnosis: Antennae con el III segmento dos veces la longitud del II, IX segmento antenal más largo que VII y VIII juntos, insterstria sutural en los elytra con proyecciones tuberculiformes gruesas dirigidas hacia atrás en ángulo recto; coloración corporal variable.

Distribución: Brasil, Paraguay (Senna, 1896; Haedo Rossi, 1967; Sforzi & Bartolozzi, 2004) y Panamá. Primer registro para Panamá.

Biología: Desconocida, probable habitante del dosel.

Material examinado: Cerro Jefe, Parque Nacional Chagres, 21 mayo 1998, B. K. Eya, 1 (♀) (MIUP).

***Ulocerus sordidus* Sharp, 1895 (Fig. 6)**

sordidus Sharp, 1895. Biol. Centr. Amer. 4(6): 80. BMNH (Holotipo)

Diagnosis: Antennae con los primeros seis segmentos cubiertos de pubescencia castaño-oscuro, VII y VIII pálidos, IX pequeño, ligeramente acuminado, castaño-oscuro; protórax alargado y estrecho, con proyecciones setiformes lateralmente; elytra fuertemente estrechados, interstriae elytrales provista de proyecciones tuberculiformes evidentes, más no alargadas.

Distribución: Costa Rica, México (♂?), Panamá; Guyana Francesa (Sharp, 1895; Senna, 1896; Sforzi & Bartolozzi, 2004).

Biología: Habitante del dosel; asociado a *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae) y *Anacardium excelsum* (Anacardiaceae).

Material examinado: Isla de Barro Colorado, trampa de luz, 25-31 mayo 1988, 3 (♂)(PCMENT); mismos datos pero: 29 abril- 5 mayo 1992, 4 (♂♀)(PCMENT); 22-28 abril 1997, 1 (♂) (PCMENT); 26-31 marzo 1997, 1 (♂) (PCMENT); 26 octubre-1 noviembre 1988, (♀) (PCMENT); 11-17 mayo 1988, 3 (♂♀) (PCMENT); 15-21 mayo 1988, 2 (♂) (PCMENT); 26 febrero- 3 marzo 1987, 1 (♀) (PCMENT); 22-28 abril 1987, 1 (♂) (PCMENT); 18-24 mayo 1988, 2 (♀); Parque Natural Metropolitano, 15 mayo 1998, H. Barrios, 18 individuos (12♀; 6♂) (PCMENT); mismos datos pero: 12 junio 1998, H. Barrios, 4 (♀) (PCMENT); 18 octubre 1997, H. Barrios, 1 (♂) (PCMENT); 10 enero 1998, H. Barrios, 1 (♀) (PCMENT); 5 junio 1997, H. Barrios, 2 (♂); 17 abril 1998, H. Barrios, 1 (♀) (PCMENT); 28 marzo 1995, F. Ødegaard, 1 (♂) (MIUP).



Fig. 1. *Ulocerus*; 1a. *laticornis* Sharp, 1895 (♂); dosel del Parque Natural Metropolitano 1997, (PCMENT); 2b. *albiornatus* Izechsohn, 1962 (♂), Parque Natural Metropolitano, 1997(PCMENT); 3c. *longirostris* Izechsohn, 1963 (♀); Isla Barro Colorado, 1987 (PCMENT); 4d. *damnosus* Damoiseau, 1962 (♂), Isla Barro Colorado, 1992 (PCMENT); 5e. *recticauda* Senna, 1896 (♀), Parque Nacional Chagres, 1998, (MIUP); 6f. *sordidus* Sharp, 1895 (♀), dosel del Parque Natural Metropolitano, 1992, (PCMENT).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Héctor Barrios, del Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, y Diomedes Quintero A., Director del Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, por facilitar los especímenes; a Luca Bartolozzi, Museo di Storia Naturale, Sezione di Zoologia "La Specola", Università di Firenze, Italia y Antoine Mantilleri, Muséum National d' Histoire Naturelle, Paris, Francia por sus comentarios respecto al grupo en cuestión; de igual manera al personal de la Biblioteca del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales en especial a Ángel Aguirre por facilitarnos el material bibliográfico.

REFERENCIAS

Alonso-Zaragosa, M.A. & C.H.C. Lyal. 1999. A World Catalogue of Families and Genera of Curculionoidea (Insecta: Coleoptera) (Excluding Scolytidae and Platypodidae). Entomopraxis. S.C.P. Barcelona. 315 pp.

Dalman, J. W. 1824. Ephemerides Entomologicae. Vol. I. –Typis Linhianis Holmiae. VII+ 104 pp.

Damoiseau, R. 1962. Contribution à la Connaissance des Brenthides (Coleoptera-Brentidae). Bull. Ann. Soc. R. Entomol. Belg. Entomol. 37 (37): 1-24.

Haedo Rossi, J. A. 1961. Brentidos Argentinos (Brenthidae: Coleoptera). Opera Lilloana 6: 1-313.

Haedo Rossi, J. A. 1967. Brentidos del Paraguay (Col. Brentidae). Acta Zool. Lilloana 22: 157-182.

Izecksohn, E. 1962. Contribução ao estudo das species do genero *Ulocerus* Dalman. Bol. Mus. Nac., N.S., Zool., Rio de Janeiro 237: 1-5.

Izecksohn, E. 1963. Três novas espécies do gênero "Ulocerus" Dalman, da região Amazônica (Coleoptera: Brenthidae). Rev Bras Zool 23(4): 413-419.

Schoenherr, C.J. 1840. Genera et species curculionidum, cum synonymia hujus familiae. Species Novae aut hactenus minus cognitae, descriptionibus a Dom. L. Gyllenhal, C.H. Boheman, O.J. Fahraeus et entomologis aliis illustratae. Vol.8 (2) Supplementum continens. Roret ed., Parisiisy F. Fleishcher ed., Lipsiae, 1-504 pp.

Senna, A. 1892. Contribuzioni allo Studio dei Brentidi. Nota X. aggiunte, correzioni e note critiche ai Cataloghi dei Brentidi. Boll Soc Entomol Ital 24:38-63.

Senna, A. 1896. Revision des espèces du genre *Ulocerus* Dalman. Ann. Soc. Entomol. Belg. Vol. 40: 190-223.

Sforzi, A. & L. Bartolozzi. 2004. Brentidae Billberg, 1820 (Brentinae, Cyphagoginae, Pholidochlamydiae, Taphroderinae, Tracheliziniinae, Ulocerinae) (Coleoptera: Curculionoidea) en: Sforzi, A. y L.

Bartolozzi. 2004 (Ed.) Brentidae of the World (Coleoptera: Curculionoidea). Monografie di Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino 39. 974 pp (1-780).

Sharp, D. 1895. Class Insecta, Order Coleoptera. Tribe Rhynchophora. Fam. Brentidae, en: Sharp, D., F.Z.S. Blandford., K. Jordan (eds) (1895-1907): Biologia Centrali Americana. 4(6): VI+396pp (1-80).

Wolda, H., C. O'Brien & H. P. Stockwell. 1998. Weevils Diversity and Seasonality in Tropical Panamá as Deduced from Light-traps catches (Coleoptera: Curculionoidea). Smithsonian Contribution to Zoology Number 590; Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 88 pp.

Recibido marzo de 2013, aceptado mayo de 2014.



THE STRUCTURE OF *BOSTRYCHIETUM* COMPLEX IN AN ALLUVIAL MANGROVE FOREST IN THE GULF OF MONTIJO, PACIFIC OF PANAMA

Carlos E Seixas G.¹, Luis De Gracia, Xenia Aparicio and Yesenith Muñoz.

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas.
Email: carlosseix@hotmail.com

ABSTRACT

The present study provides information about the structure and temporal variations of the *Bostrychietum* complex in a *Rhizophora racemosa* and *pelliciera rhizophorae* dominated alluvial mangrove in the gulf of Montijo, western Panama. Twenty-one segments of one meter length of *Rhizophora racemosa* roots were randomly sampled below the high water mark and measured in terms of breadth (diameter) and surface area occupied by each species of the complex. In a second study, a year later, algal cover of thirty segments of roots were carefully removed and left to dry to a constant dry weight for a week after the collection date. Each species was weighted separately and biomass was expressed in mg/cm² of root. The *Bostrychietum* complex was composed by three species of red algae, *Bostrychia calliptera* (Montagne) Montagne (Rhodomelaceae), *Caloglossa leprieurii* (Montagne) G. Martens (Delesseriaceae) and *Catenella impudica* (Caulacanthaceae). *Bostrychia calliptera* showed the broadest range of cover with 1.61 ± 0.04 m² (81.8%) whereas *Caloglossa leprieurii* registered a cover of 0.35 ± 0.028 m² (17.7%) and *Catenella impudica* only 0.009 ± 0.005 m² (0.5%). In the second study epiphytic biomass was measured in terms of the dry weight and the density of algal mass surrounding roots determined in both dry and rainy season. A total of 88.1 mg of algae were collected, 90.7% corresponding to *Bostrychia calliptera* and 9.3% to *Caloglossa leprieurii*. *Catenella impudica* was not found. Biomass of *B. calliptera* was relatively constant between dry and rainy season with mean density of 37.8 y 42.1 mg/cm² while *C. leprieurii* registered low values of 8.2 mg/cm² in the dry season and less of 1 mg/cm² in the rainy season.

KEYWORDS

Bostrychietum complex, *Bostrychia*, mangrove algae structure, mangrove epiphytes.

RESUMEN

El presente trabajo provee información sobre la estructura y variación temporal del complejo *Bostrychietum* en un manglar aluvial del golfo de Montijo dominado por *Rhizophora racemosa* y *Pelliciera rhizophorae*. En un primer estudio se seleccionó veintidós segmentos de raíces de *Rhizophora racemosa* de un metro de largo y se determinó la composición del complejo *Bostrychietum* y el área superficial ocupada por cada elemento del complejo. En un segundo estudio, un año después, se determinó el peso seco de los componentes del complejo en treinta segmentos de raíces de *R. racemosa* seleccionados al azar. El complejo *Bostrychietum* estuvo integrado por algas rojas de las especies *Bostrychia calliptera* (Montagne) Montagne (Rhodomelaceae), *Caloglossa leprieurii* (Montagne) G. Martens (Delesseriaceae) and *Catenella impudica* (Caulacanthaceae). *Bostrychia calliptera* mostró la mayor cobertura con $1.61 \pm 0.04 \text{ m}^2$ (81.8%) mientras que *Caloglossa leprieurii* registró $0.35 \pm 0.028 \text{ m}^2$ (17.7%) y *Catenella impudica* $0.009 \pm 0.005 \text{ m}^2$ (0.5%). En el segundo estudio se recolectaron 88.1 mg of algas de los cuales 90.7% correspondió a *Bostrychia calliptera* y 9.3% a *Caloglossa leprieurii*. *Catenella impudica* no se encontró en esta ocasión. La biomasa de *B. calliptera* se mantuvo constante con valores de 37.8 mg/cm² para la estación seca y 42 mg/cm² para la lluviosa mientras que *C. leprieurii* registró valores bajos de 8.2 mg/cm² en la estación seca y menos de 1 mg/cm² para la estación lluviosa.

PALABRAS CLAVES

Complejo *Bostrychietum*, *Bostrychia*, estructura de algas de manglar, epifitas de manglar

INTRODUCTION

The *Bostrychietum complex* (Post 1936) is an association of specialized red algae that grows on roots of different species of mangroves in tropical and subtropical coastal areas. The complex is usually composed by species of the genus *Bostrychia* and *Stictosiphonia* (Rhodomelaceae, Ceramiales), *Caloglossa* (Delesseriaceae, Ceramiales) and *Catenella*, (Caulacanthaceae, Gigartinales). Algae of the complex are frequently overlooked of mangrove flora studies because of the inconspicuous size and little it is known of their role in the mangrove ecosystems. *Bostrychia* species

are conspicuous components of the complex growing epiphytically on *Rhizophora* prop roots (Taylor, 1945, 1960) and pneumatophores of *Avicennia* (King & Puttock, 1989). Although food chains in mangrove habitats have long been supposed to be based on detritus derived from mangrove litter (Odum & Heald, 1972; Lugo & Snedaker, 1974) recent studies have revealed that epiphytic algae may also serve as an additional important source of carbon in the mangrove food web (Rodríguez & Stoner, 1990) and indicators of the health status of the mangrove. Peña -Salamanca (2008) studied the spatial and temporal dynamics of algal biomass associated with mangrove roots at Buenaventura bay, Colombia and found that tidal inundation and the vertical position along the roots seem to be the most important factors influencing the algal biomass. Quiel Rodríguez et al. (2010) developed an exploratory study of macroalgae associated with mangrove vegetation at Remedios, southeast of the province of Chiriquí (Panamá). They reported for the first time the presence of *Catenella impudica* (Montagne) J. Agardh and *Bostrychia montagnei* Harvey. García Furlan (2013) studied the Macrofauna associated with *Bostrychietum* community in different environments on the northern coast of São Paulo, Brazil. The weight of the sample (alga dry weight + sediment dry weight) was used to calculate the density of individuals. The algal composition varied through the sampled months as well as in relation to distance from the sea. The purpose of the present investigation was to provide information about the structure and temporal variations of the *Bostrychietum* complex in a *Rhizophora racemosa* - *phelliciera rhizophorae* dominated mangrove in the gulf of Montijo, western Panama.

MATERIALS AND METHODS

Area of study

The study was carried out at Puerto Limón mangrove, a small patch of alluvial mangrove located near Pilon, Montijo with UTM coordinates 0491173 East and 0877245 North (Fig. 1). The area is dominated by the tea mangrove *P. rhizophorae* (Planch and Triana), *Rhizophora racemosa* (G. Mey) and *Mora oleifera* (Triana Ducke), accompanied by the black mangrove *Avicennia germinans* (L.) in combination with the mangrove fern *Acrostichum aureum* (L.) (Cámara-Artiga et al., 2004).

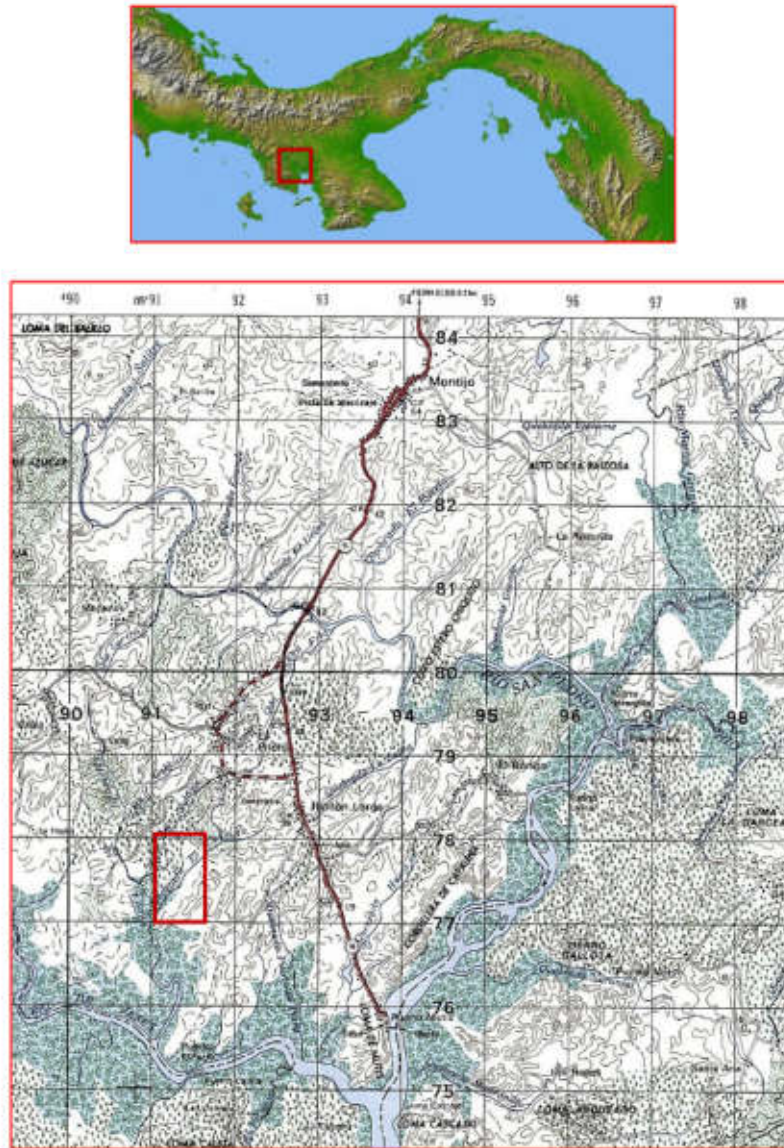


Fig.1. Location of the study area at Puerto Limón, an alluvial mangrove patch at El Pilón, Montijo.

Sample Collection

A 25 m² quadrant was localized in a patch of *Rhizophora racemosa* where the algal epiphytes were abundant. The samplings were carried

out in July and September 2010. Twenty one segments of one meter length were randomly sampled below the high water mark and measured in terms of breadth (diameter) and the surface area (m^2) occupied by each species of the complex using the formula $2\pi rh = \pi dh$ (Steinke & Naidoo, 1990). In a separated study carried out in the dry and rainy season of 2011, epiphytic algae of thirty segments of roots of 0.5 meter of length were carefully removed and repeatedly washed to get rid of the mud and detrital particles as much as possible. Algae were then placed in a wood oven and left to dry to a constant dry weight for a week after the collection. Each species was weighted separately in a precision balance and the biomass was expressed in mg/cm^2 of root.

RESULTS

Composition of the *Bostrychietum* complex

The epiphytic algal flora of *R. racemosa* roots was composed by three species of red algae, *Bostrychia calliptera* (Montagne) Montagne (Rhodomelaceae), *Caloglossa leprieurii* (Montagne) G. Martens (Delesseriaceae) and *Catenella impudica* (Caulacanthaceae). *Bostrychia calliptera* (Figs 1a, 1b) is characterized by being polysiphonous, decumbent, conspicuously pinnate with 6 pericentral cells in the main axes, stichidia stipitate, lanceolate blades, a little curved, with 2 rows of sporangia visible from the side.

Catenella impudica (Fig. 1c) is dull violet plant, creeping, ditrichotomous, the younger segments slender and the older broader and flattened. Haptera formed from normal segments of the tallus. *Caloglossa leprieurii* (Fig. 1d) is spreading, mostly prostrate, purplish red to almost black and attached by rhizoids from the ventral surface at constrictions. Blades are linear to oval, constricted at forks or elsewhere and the branches are formed at nodes or midribs.

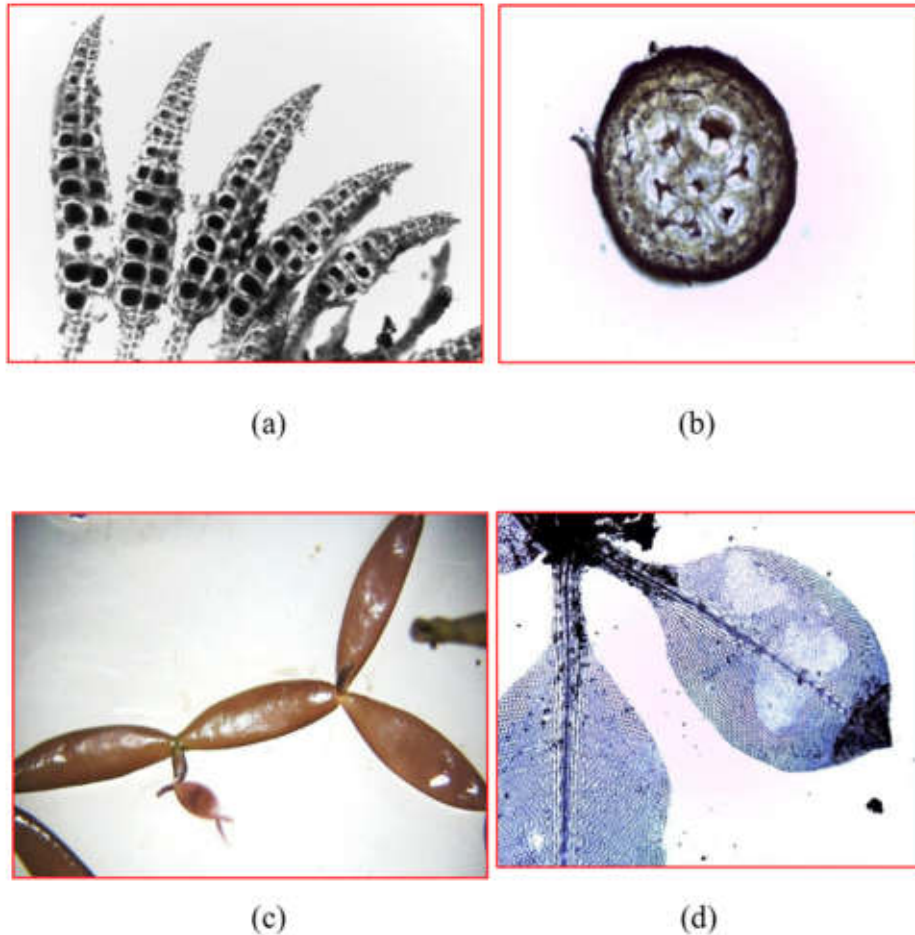


Fig.1. *Bostrychia calliptera* showing tetrasporangia tetrahedrally divided and in two rows within stalked stichidia (a) with 6 pericentral cells in a cross section of the main axes (b). Habit of *Catenella impudica* (c). Blades oval, constricted at forks in *Caloglossa leprieurii* (d).

Cover area and epiphytic biomass on roots of *Rhizophora racemosa*

Table 1 shows the cover area (m²) of *B. calliptera* and *C. leprieurii* on roots of *Rhizophora racemosa*. Cover areas were calculated separately for each specie. *Bostrychia calliptera* showed the highest average of cover with 1.61 ± 0.04 m² (81.8%) whereas *Caloglossa leprieurii* registered a cover of 0.35 ± 0.028 m² (17.7%) and *Catenella impudica*

only $0.009 \pm 0.005 \text{ m}^2$ (0.5%). The epiphytic algal cover was 97.0 ± 0.4 percent of available area on roots. In 2011 study epiphytic biomass was measured in terms of the dry weight and the density of algal mass surrounding roots determined in both dry and rainy season (Table 2). A total of 88.1 mg of plant material were collected, 90.7% corresponding to *Bostrychia calliptera* and 9.3% to *Caloglossa leprieurii*. *Catenella impudica* was not found. Biomass of *B. calliptera* was relatively constant between dry and rainy season with mean density of 37.8 y 42.1 mg/cm² while *C. leprieurii* registered low values of 8.2 mg/cm² in the dry season and less of 1 mg/cm² in the rainy season.

DISCUSSION

The *Bostrychietum* complex is a specialized group of algae occurring as epiphytes on the stems and roots of mangrove trees or growing on other substrata within the mangrove ecosystem and usually is dominated by the genus *Bostrychia* in association with *Caloglossa*, *Catenella*, *Murrayella*, and *Stictosiphonia* (King and Puttock 1989, 1994a, King et al. 1988 and Kamiya et al., 1997). The *Bostrychia-Caloglossa* association dominate the *Bostrychietum* of Puerto Limón and their presence is indicator of a mangrove forest in a not disturbed state (Pedroche et al, 1995). Peña-Salamanca (2008) studied the composition and the spatial and temporal variation of the complex growing on roots of *Rhizophora mangle* and pneumatophores of *Avicennia germinans* in Buenaventura bay, Colombia. Four species dominated the algal flora and collectively contributed with 90 % of the total algal biomass. *Bostrychia calliptera* was the most dominant with 32 % of the total biomass, followed by *Boodleopsis verticillata* (26 %), *Catenella impudica* (18 %), and *Caloglossa leprieurii* (12 %). Three of these four species are present in Puerto Limon, but the wide prevalence of *B. calliptera* is suggested of the changes in salinity and drying that occur from winter to summer (Yarish et al, 1979; Yarish and Edwards, 1982). Indeed, *Bostrychietum* is a microecosystem with many factors modulating the interactions between species, making further investigation on the existing relationships between species and the operating environmental factors necessary (Furlan, 2013). Densities of Puerto Limon, were lower than those recorded in

Buenaventura where reported values were 20.7 to 54.8 g/m² for *Bostrychia calliptera* and 8.1 to 11.2 g/m² for *Caloglossa leprieurii*.

Table 1. Cover area (m²) of *B. calliptera*, *C. leprieurii* and *C. impudica* on roots of *Rhizophora racemosa* in July and September 2010.

<i>Bostrychiacalliptera</i>			<i>Caloglossa leprieurii</i>		
NUMBER OF ROOT	July	September	NUMBER OF ROOT	July	September
1	0.1000	0.1000	2	0.0078	0.0078
2	0.0549	0.0549	5	0.0082	0.0147
3	0.1060	0.1060	7	0.0120	0.016
4	0.0961	0.0833	8	0.0318	0.0364
5	0.0653	0.0669	9	0.0157	0.0188
6	0.1060	0.1060	11	0.0228	0.0279
7	0.0884	0.0844	12	0.0131	0.0149
8	0.0592	0.0546	13	0.0241	0.0263
9	0.0628	0.0596	15	0.0273	0.0364
10	0.0973	0.0973	17	0.0311	0.0311
11	0.0912	0.0756	18	0.0452	0.0486
12	0.0747	0.0730	19	0.0584	0.0584
13	0.0967	0.0835	21	0.0351	0.0351
14	0.0714	0.0824	TOTAL	0.3326	0.3724
15	0.0637	0.0546	MEAN	0.0255	0.0286
16	0.0452	0.0452			
17	0.0725	0.0725			
18	0.0678	0.0644			
19	0.0389	0.0389			
20	0.0879	0.0879			
21	0.0904	0.0904			
TOTAL	1.6364	1.5814			
MEAN	0.0779	0.0753			

<i>Catenella impudica</i>		
NUMBER OF ROOT	July	September
# 4	0.0053	0.0128

Table 2. Dry weight mean (mg/cm²) of algal epiphytic on roots of *Rhizophora racemosa* in the dry and rainy season of 2011.

SPECIE	DRY SEASON	RAINY SEASON	MEAN
<i>Bostrychia calliptera</i>	37.8	42.1	39.9
<i>Caloglossa leprieurii</i>	8.2	0.02	4.1

CONCLUSION

The wide dominance of *Bostrychia calliptera* in the *Bostrychietum* association of Puerto Limón is suggested of the importance of environmental factors in the spatial and temporal distribution of mangrove algae. The ability to withstand emersion and salinity variations seems to be the major determinants of the abundance of this specie. Predominance of *B. calliptera* on *Rhizophora* roots in both summer and rainy season reveal absence of competitive interactions for bare space during colonization and absence of well-defined zonation pattern.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the assistance of *Avicennia* group at Pilon of Montijo.

REFERENCES

- Cámara Artigas, R., Díaz del Olmo, F., Martínez Batlle, J. R., Morón Monge, M del C., Gómez-Ponce, C., Tabares, E. & Vega, A. J. 2004. Directrices de Gestión para la Conservación y Desarrollo Integral de un Humedal Centroamericano: Golfo de Montijo. (Litoral del Pacífico, Panamá). Fundación DEMUCA, 299 p.
- Kamiya, M., J. Tanaka, & Y. Hara. 1997. Comparative morphology, crossability and taxonomy within the *Caloglossa continua*

(Delesseriaceae, Rhodophyta) complex from the western pacific. J. Phycol. 33: 97-105.

King, R. J. & C. F. Puttock. 1989. Morphology and taxonomy of *Bostrychia* and *Stictosiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta). Austr. Syst. Bot. 21:1-73.

King, R. J., C. F. Puttock & R. S. Vickery. 1988. A taxonomic study on the *Bostrychia tenella* complex (Rhodomelaceae, Rhodophyta). Phycologia, 27:10-19.

King, R. J. & C. F. Puttock. 1994a. Morphology and taxonomy of *Caloglossa* (Delesseriaceae, Rhodophyta). Aust. Syst. Bot. 7:89-124.

Lugo, A. E. & S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. Ann. Res. Ecol. Systematics 5:39-64.

Odum, W. E. & E. J. Heald. 1972. Trophic analysis of an estuarine mangrove community. Bull. Mar. Sci. 22:671-738.

Pedroche, E. F., J. A. West, G. C. Zuccarello, A. Senties & U. Karston. 1995. Marine red algae of the mangrove in Southern Pacific, Mexico and Pacific Guatemala. Bot. Mar. 38: 111-119.

Peña-Salamanca, E. J. 2008. Dinámica especial y temporal de la biomasa algal asociada a las raíces de mangle en la bahía de Buenaventura, costa pacífica de Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 37(2): 55-70.

Post, E. 1936. Systematische and pflanzen-geographische notizen zur *Bostrychia-Caloglossa* assoziation. Rev. Algol. 9:1-84.

Rodriguez, C. & A. W. Stoner. 1990. The epiphyte community of mangrove roots in a tropical estuary: Distribution and biomass. Aquat. Bot. 36:117-126.

Steinke, T. D. & Y. Naidoo. 1990. Biomass of algae epiphytic on pneumatophores of the mangrove *Avicennia marina* in the St. Lucin estuary. S Afr. J. Bot. 56 226-232.

Taylor, W. R. 1945. Pacific marine algae of the Allan Hancock Expeditions to the Galapagos Islands. Vol. 12. The University of Southern California Press, Los Angeles. 1960. Marine algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coasts of the Americas. Vol. 12. The University of Michigan Press, Ann Arbor.

Yarish, C., P. Edwards & S. Casey. 1979. A culture study of salinity responses ecotypes of two estuarine red algae. J. Phycol. 15: 341-346.

Yarish, C. & P. Edwards. 1982. A field and cultural investigation of the horizontal and seasonal distribution of estuarine red algae of New Jersey. Phycologia, 21(2): 112-124.

Recibido diciembre de 2013, aceptado junio de 2014.



REDUCCION CARBOTÉRMICA DE ORTOSILICATOS DE HIERRO Y LITIO

Miguel Jiménez¹ y Juan A. Jaén²

¹Depto. de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

²Depto. de Química Física, Lab. N° 105, Edificio de Laboratorios Científicos-VIP, Universidad de Panamá.

RESUMEN

Se prepararon muestras de $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ y $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ ($x = 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ y 0.30) vía una reacción de estado sólida, asistida por molienda mecánica, y se caracterizaron por difracción de rayos X y espectroscopia Mössbauer de transmisión. Como fuente de carbono se usó sucrosa. Los resultados del análisis Rietveld de los difratogramas de rayos X y los de Mössbauer indican que los ortosilicatos cristalizan en la fase monoclinica $\text{P2}_1/\text{n}$ con tamaños de cristalitas uniforme. La fase prístina $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ tiene carácter paramagnético. Se observa que los ortosilicatos de hierro y litio dopados con níquel, $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$, en las condiciones experimentales utilizadas, sufren una reducción carbotérmica. El carbono favorece un ambiente altamente reductor para la formación de fases tipo $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$, en detrimento de la formación óptima de un compuesto del ortosilicato recubierto por carbono.

PALABRAS CLAVES

Material catódico, batería de ion de litio, Ortosilicato de hierro y litio, reducción carbotérmica, difracción de rayos X, espectroscopia Mössbauer.

ABSTRACT

Samples of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ and $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ ($x = 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ and 0.30) were prepared via a solid state reaction assisted by mechanical milling and characterized by X-ray diffraction and transmission Mössbauer spectroscopy. Sucrose was used as carbon sources. Rietveld analysis of the X-ray diffractograms and Mossbauer results indicate that the orthosilicates crystallize in as a monoclinic $\text{P2}_1/\text{n}$

phase with uniform crystallite sizes. The pristine phase $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ is paramagnetic. It is noted that nickel doped lithium iron orthosilicates, $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$, in the experimental conditions used, undergo carbothermal reduction. Carbon promotes a highly reductive environment for the formation of such phases $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$ impairing optimal formation of a composite of carbon coated orthosilicate.

KEYWORDS

Cathode material, lithium ion battery, lithium iron orthosilicate, carbothermal reduction, X-ray diffraction, Mössbauer spectroscopy.

INTRODUCCIÓN

El ortosilicato de hierro y litio, $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$, es uno de los materiales catódicos más prometedores para las baterías de iones de litio de última generación. Posee varias ventajas, incluyendo el precio bajo, la compatibilidad medioambiental y la seguridad térmica intrínseca (Politaev *et al.*, 2007).

Sin embargo, el uso de $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ como un cátodo requiere que su pobre conductividad electrónica sea mejorada (Dominko, 2008). Muchos esfuerzos se han hecho en los últimos años para optimizar el desempeño electroquímico del $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ dopando con impurezas o metales de transición (Deng *et al.*, 2011; Shao & Taniguchi, 2012), el uso de nuevas rutas de síntesis para obtener partículas nanométricas (Cui, 2014; Huang *et al.*, 2010; Gong *et al.*, 2008) o recubrimientos de carbono para mejorar la conductividad de la fase sólida (Chen *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2012, Wu *et al.*, 2012; Shao & Taniguchi, 2012; Qu *et al.*, 2012).

Durante la síntesis se calienta a elevadas temperaturas provocando la pirolisis de los precursores orgánicos a carbono sólido y la formación simultánea de la fase $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$, para obtener un material compuesto $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$. El carbono formado *in situ* aumenta en gran medida la conductividad electrónica del electrodo, por un lado, y suprime eficazmente el crecimiento de grano del $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$.

En este trabajo se presenta el efecto de condiciones excesivas en el método de reducción carbotérmica *in situ* para la síntesis de

compositos de tamaño nanométrico de $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ ($0 \leq x \leq 0.30$). En comunicaciones separadas, reportamos sobre la síntesis y caracterización del $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ sin carbono. En nuestra estrategia, los materiales precursores se sometieron a una molienda mecánica, luego se mezclaron con sucrosa como fuente de carbono y agente reductor, se realizó un tratamiento de presinterización y calcinación a 650°C en una atmósfera de argón. Aunque la sucrosa se ha utilizado exitosamente por varios grupos de investigación como fuente de carbono para sintetizar el compuesto $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ (Armstrong *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2009; Guo *et al.*, 2010; Zuo *et al.*, 2012), nuestras condiciones experimentales de síntesis condujeron a la formación de fases de impurezas indeseables que compiten con la formación del ortosilicato.

PARTE EXPERIMENTAL

Ortosilicatos prístinos $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ fueron preparados mediante de una reacción de estado sólido, asistida por una molienda planetaria, usando cantidades estequiométricas (5, 10, 15, 20 y 30% mol) de los materiales iniciales: metasilicato de litio Li_2SiO_3 (GFS Chemicals, $\geq 99.5\%$), oxalato de hierro di hidratado $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich Chemistry, 99%) y acetato de níquel tetra hidratado $\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (GFS Chemicals, $\geq 99.9\%$).

Los compuestos precursores se molieron en un molino planetario, modelo “Pulverisette 5” de cuatro jarros, durante 36 horas, a una frecuencia de 37 Hz y un vacío de 2×10^{-2} mbar. Todas las moliendas se hicieron a una razón 15:1 (15 gramos de bolas de acero inoxidable por gramo de mezcla).

El producto de la molienda se mezcló con sucrosa $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (GFS Chemicals, 99.5%) como fuente de carbono, para el recubrimiento de las muestras. La masa de sucrosa fue estimada para alcanzar un recubrimiento al 10 % en peso del compuesto final. La sucrosa se macero en un mortero de ágata por media hora en presencia alcohol etílico anhidro (99.9 % $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$). Luego se agregó paulatinamente la mezcla de los precursores (previamente molida) y se continuó la maceración por una hora más.

La mezcla seca fue comprimida en pastillas, a una presión de 750 psi (5.17×10^6 Pa). Las pastillas fueron introducidas en un horno tubular horizontal Hoskins Electric Furnace FD303A y se calentó desde la temperatura ambiente hasta 300°C, a razón de 5 °C/min. A esta temperatura se mantuvieron por una hora para lograr la calcinación total de la sucrosa. Luego se elevó nuevamente la temperatura hasta alcanzar los 650 °C a 10 °C/min. El proceso se llevó a cabo con un flujo de Argón y por un periodo de 12 horas, al cabo del cual se enfrió a una tasa de -10°C/min hasta alcanzar los 25 °C.

La estructura de los ortosilicatos fue examinada mediante un análisis de difracción de rayos X de polvo con un difractómetro modelo X'Pert Pro PanAlytical (con una potencia de 45 kW y una corriente de operación de 40 mA) equipado con una fuente de cobre Cu-K α ($\lambda = 1.54056$ Å). Todas las medidas de DRX fueron tomadas a temperatura ambiente (298 K) en el rango $10^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$ a intervalos de 0.02°, en una geometría de Bragg-Brentano. Los refinamientos Rietveld de los difractogramas se hicieron con el software G-SAS (Larson & Von Dreele, 2004), basado en una función de perfil Pseudo Voigt (0.75 Lorentziana y 0.25 Gaussiana). Los archivos de información cristalográfica (CIF) del Li₂FeSiO₄ fueron generados con G-SAS a partir de los resultados estructurales reportados por Mali *et al.* (2011) y Sirisopanaporn *et al.* (2011).

Los espectros Mössbauer se registraron con un espectrómetro convencional de aceleración constante, con una fuente de ⁵⁷Co(Rh) de 10 mCi (370 MBq). Los desplazamientos isoméricos se reportan respecto al centroide del α -Fe a temperatura ambiente. Las evaluaciones se realizaron con el programa Recoil, utilizando líneas de Voigt para los espectros a 298 K.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta el refinamiento Rietveld de la muestra prístina Li₂FeSiO₄ (ortosilicato sin dopar y sin carbono). El mejor ajuste se obtiene al refinar con la fase monoclinica P2₁/n con $a = 8.2248(6)$ Å, $b = 5.0158(2)$ Å, $c = 8.2279(5)$ Å y $\beta = 99.1913^\circ$, en

buen acuerdo con lo reportado en la literatura (Mali *et al.*, 2011; Sirisopanaporn *et al.*, 2011; Nishimura *et al.*, 2008). Todos los picos experimentales están contenidos en el modelo teórico, excepto aquellos que corresponden a otra fase identificada como una impureza de magnetita litiada $\text{Fe}_{2.5}\text{Li}_{0.5}\text{O}_4$. El análisis indica que esta impureza está en un 3.32%.

El espectro Mössbauer de la muestra de $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ se presenta la Figura 2. Los parámetros Mössbauer desdoblamiento cuadrupolar (QS = 2.397(2) mm/s) y desplazamiento del centroide (CS = 0.952(1) mm/s), del doblete mayoritario (92.6 %), se asocian al Fe^{2+} en un arreglo tetraédrico y confirman la presencia del ortosilicato en la fase monoclinica $\text{P2}_1/\text{n}$ en acuerdo con los reportes en la literatura (Jugović *et al.*, 2014; Kyu Lee *et al.*, 2013; Lv *et al.*, 2011; Mali *et al.*, 2011; Sirisopanaporn *et al.*, 2011; Nyten *et al.*, 2006).

Mössbauer confirma la presencia de la magnetita litiada superparamagnética que se ajustó con dos singletes muy anchos en la región central del espectro, similarmente a lo que se obtiene para el óxido de hierro litiado $\text{Li}_x\text{Fe}_3\text{O}_4$ (Fontcuberta & Rodríguez, 1986).

Esta impureza se forma por la inserción de iones de litio en las vacancias de la magnetita pura Fe_3O_4 . Es una ferrita ferromagnética débil (Betancur *et al.*, 2002) que presenta dos sextetos Mössbauer característicos. En este caso, el aleamiento mecánico produjo superparamagnetismo por reducción del tamaño de grano.

Los difractogramas de las muestras de ortosilicato con carbono $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ se presentan en la Figura 3. Las cantidades de las diversas fases identificadas, según los resultados del refinamiento Rietveld, se resume en la Cuadro 1. La muestra sin níquel recubierta con carbono $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ presenta un porcentaje muy bajo del ortosilicato, cerca de 54.82 %. Si comparamos este porcentaje con el obtenido en la muestra prístina sin carbono $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ (96.68 %), y dado que las dos muestras fueron sintetizadas bajo las mismas condiciones, se infiere que la baja cantidad del ortosilicato se debe a la presencia del carbono.

El compuesto FeLiO_2 (identificado en $x=0$ y $x=0.05$) es un óxido metálico de litio muy interesante, ya que también ha sido estudiado como material catódico desde el año 2001 (Obrovac *et al.*, 2001). Además, Vucinic *et al.* (2006) reportaron que este compuesto se obtiene como una segunda fase (impureza) durante la formación de la ferrita litiada $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$. En esta línea, un resultado curioso es que en las muestras sin carbono $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ (también en $\text{Li}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{SiO}_4$) se encontró magnetita litiada, mientras que en las mismas muestras, pero con carbono se encontró LiFeO_2 . Esto sugiere que la presencia del carbono también inhibe la formación de la $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ y favorece la formación de la fase LiFeO_2 .

Algunos autores (Guo *et al.*, 2009) han reportado que el carbono inhibe el crecimiento del grano de los ortosilicatos. Sin embargo, en este trabajo no se observa una disminución en el tamaño de los cristalitas de las muestras que tiene un valor aproximado de 64 nm. En las muestras $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$, la presencia del níquel promueve la formación de fases Fe-Ni, una disminución en la producción del ortosilicato y persisten cantidades importantes del precursor Li_2SiO_3 . Los resultados del refinamiento Rietveld también indican que la presencia del carbono reduce la cantidad efectiva de níquel que logra ingresar a la estructura del ortosilicato, respecto a las muestras sin carbono. En la muestra $\text{Li}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{SiO}_4/\text{C}$ cerca de 0.02 mol ingresó a la estructura, en el $\text{Li}_2\text{Fe}_{0.90}\text{Ni}_{0.10}\text{SiO}_4/\text{C}$ se alcanzó alrededor de 0.05 mol y en $\text{Li}_2\text{Fe}_{0.85}\text{Ni}_{0.15}\text{SiO}_4/\text{C}$ sólo un 0.025 mol. Estos bajos niveles de níquel en la estructura del ortosilicato explican los cambios insignificantes en los parámetros de red.

Las cantidades del precursor Li_2SiO_3 que se observan en los difractogramas aumentan con el dopado con níquel en la mezcla, lo que sugiere unas condiciones desfavorables a la precipitación del ortosilicato. Los espectros Mössbauer de las muestras $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ a temperatura ambiente se presentan en la Figura 4 y los parámetros hiperfinos obtenidos se resumen en la Cuadro 2.

Mössbauer confirma la presencia del ortosilicato hasta muestras con $x=0.15$. No hay presencia del ortosilicato en muestras con $x \geq 0.20$. Además, la cantidad de esta fase disminuye abruptamente con el

aumento de níquel en la mezcla inicial, en concordancia con los resultados de DRX.

Cuadro 1. Cantidades (%) de las fases identificadas en el $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$, según el refinamiento Rietveld.

Fase	x					
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30
$\text{P2}_1/\text{n}$	54.82	55.43	17.93	21.22	---	---
Li_2SiO_3	31.20	26.39	48.22	45.05	65.01	56.43
FeLiO_2	4.68	3.21	---	---	---	---
Fe	9.30	---	---	---	---	---
$\text{Fe}_{1.76}\text{Ni}_{0.16}$	---	8.52	16.22	8.19	5.21	1.34
Fe_2NiO_4	---	4.35	---	---	---	---
$\text{Fe}_{0.612}\text{Ni}_{0.388}$	---	2.10	8.36	18.22	20.85	28.50
$\text{Fe}_{1.4}\text{Ni}_{0.6}$	---	---	9.27	7.32	4.00	0.65
$\text{Fe}_{2.6}\text{Ni}_{1.4}$	---	---	---	---	4.93	13.08
Chi^2	1.074	1.040	0.9954	0.9961	1.011	1.113
$\text{R}(\text{F}^2)$	0.0936	0.0927	0.0928	0.0606	0.0903	0.0819

El corrimiento isomérico (IS) y el desdoblamiento cuadrupolar del sitio denominado QSD1 confirman que se trata del ortosilicato en la fase monoclinica $\text{P2}_1/\text{n}$. El desplazamiento isomérico (0.96 mm/s) corresponde al Fe^{2+} en un sitio tetraédrico. Además, no se observa cambios significativos en el desdoblamiento cuadrupolar lo que indica que no se ha modificado la vecindad del hierro Fe^{2+} . Esta poca o nula distorsión estructural alrededor del Fe se debe a que muy poco níquel logró incorporarse a la estructura del ortosilicato.

Por otro lado, Mössbauer detecta un fase ferromagnética (sitio HFD1) cuya intensidad disminuye a medida que se aumenta el contenido de níquel, y, como una tendencia opuesta, aparece un sitio paramagnético (sitio S1) caracterizado por un singlete, cuya intensidad crece con la cantidad de níquel. Al comparar los resultados Mössbauer con los de DRX, podemos asociar el sitio ferromagnético a aleaciones Fe-Ni de bajo contenido en níquel, $\text{Fe}_{1.76}\text{Ni}_{0.16}$ y $\text{Fe}_{1.4}\text{Ni}_{0.6}$. Ambas aleaciones son del tipo BCC ($a = b = c \cong 2.86 \text{ \AA}$) con grupo espacial Im-3m, caracterizadas por su naturaleza ferromagnética de alto momento magnético a temperatura ambiente (Kaloshkin *et al.*, 2001; Abdu *et al.*, 2004; Valderruten *et al.*, 2006). Generalmente el campo hiperfino H_f de estas aleaciones BCC se encuentra cerca de 33 T (Valderruten *et al.*, 2006). La fase paramagnética corresponde al $\text{Fe}_{0.612}\text{Ni}_{0.388}$,

Cuadro 2. Resultados Mössbauer a temperatura ambiente del ortosilicato $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$.

x	Sitio	<CS> mm/s	<QS> mm/s	σ_Δ mm/s	<H> T	σ_H T	A %	χ^2_{red}
0	QSD1	0.954(5)	2.402(9)	0.16(1)	-	-	20.0	2.20
	QSD2	0.24(4)	0.85(7)	0.37(62)	-	-	5.0	
	HFD1	-0.002(1)	0.003(1)	-	32.8(1)	0.46(3)	75.0	
0.05	QSD1	0.965(4)	2.396(8)	0.11(1)	-	-	43.1	2.02
	QSD2	0.29(3)	0.67(3)	0.8(17)	-	-	18.7	
	S1	-0.05(2)	-	-	-	-	5.6	
	HFD1	0.005(5)	-0.000(5)	-	33.3(1)	0.77(6)	32.6	
0.10	QSD1	0.970(4)	2.389(8)	0.18(2)	-	-	19.7	1.64
	S1	-0.065(1)	-	-	-	-	39.7	
	HFD1	0.028(3)	0.003(3)	-	33.8(3)	1.16(4)	40.6	
0.15	QSD1	0.985(2)	2.40(3)	0.18(3)	-	-	16.3	1.44
	QSD2	0.36(11)	1.04(21)	0.32(13)	-	-	4.6	
	S1	-0.04(7)	-	-	-	-	39.1	
	HFD1	0.016(3)	-0.014(3)	-	33.6(1)	0.81(6)	40.0	
0.20	QSD2	0.23(2)	0.83*	0.09(7)	-	-	4.6	1.50
	S1	-0.061(1)	-	-	-	-	78.6	
	HFD1	0.042(12)	-0.02(1)	-	33.7(1)	1.28(14)	16.8	
0.30	S1	-0.035(3)	-	-	-	-	81.3	0.79
	HFD1	-0.07(77)	-0.13(74)	-	23.1(50)	10.4(45)	18.7	

<CS>: corrimiento isomérico con respecto al $\alpha\text{-Fe}$

<QS>: valor promedio del desdoblamiento cuadrupolar del sitio cuadrupolar

< ϵ >: valor promedio del corrimiento cuadrupolar del sitio magnético

<H>: valor promedio del campo hiperfino magnético del sitio

σ : anchura gaussiana (desviación estándar) del sitio cuadrupolar o magnético

A: contribución del sitio al área del espectro.

*Parámetro fijo durante el ajuste.

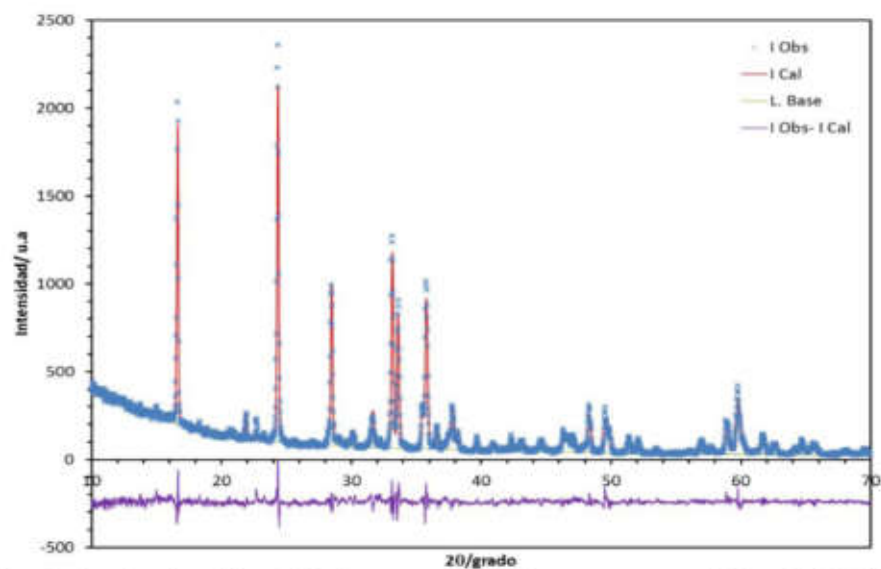


Fig. 1 Patrón de difracción de rayos X del compuesto pristino $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ experimental (x) y calculado (-) basado en un refinamiento Rietveld. $\chi^2 = 1.364$ y $R(F^2) = 0.0932$.

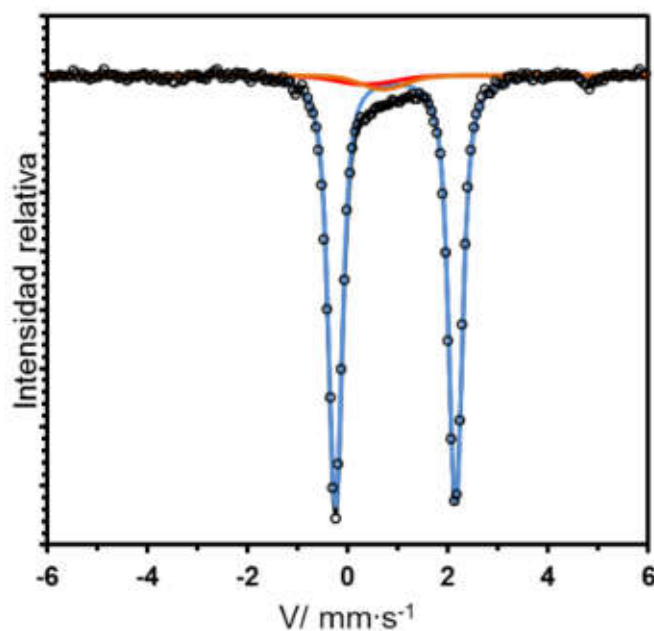


Fig. 2. Espectro Mössbauer a 295 K de una muestra de $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$.

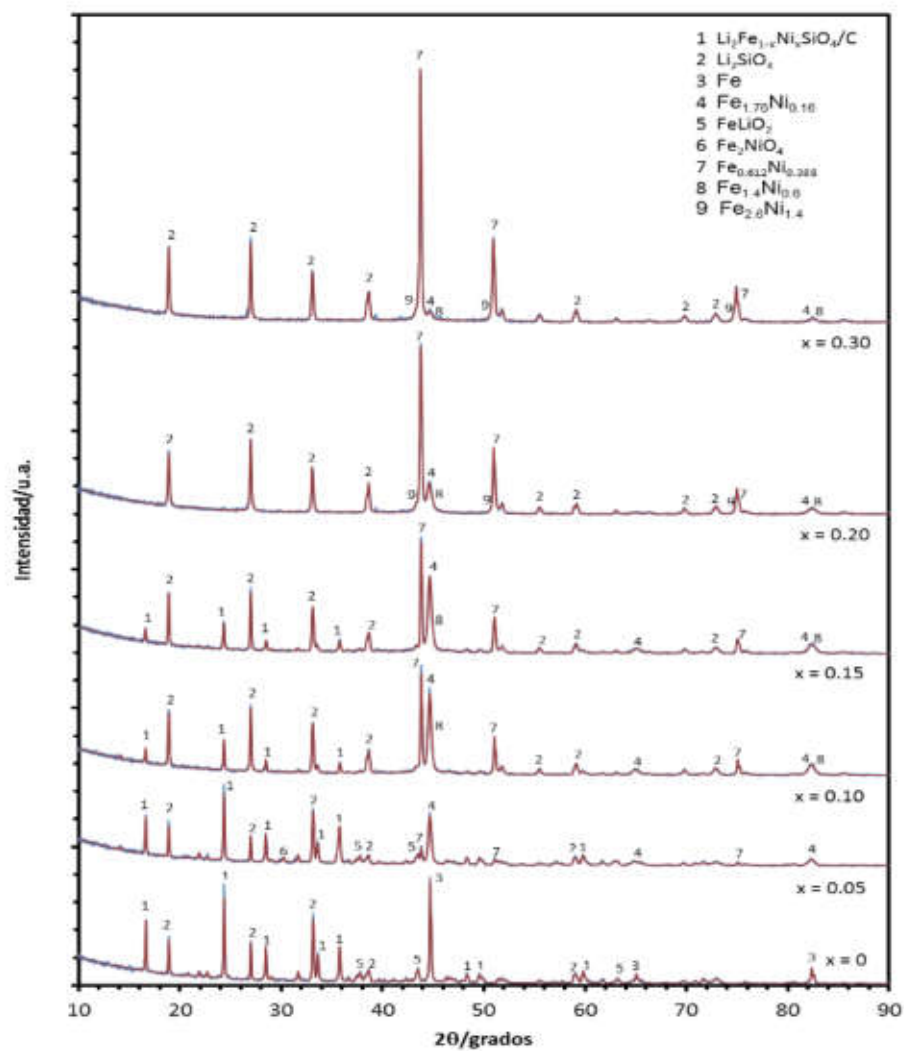


Fig. 3. Patrón de DRX de ortosilicatos $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ con diferentes cantidades de níquel.

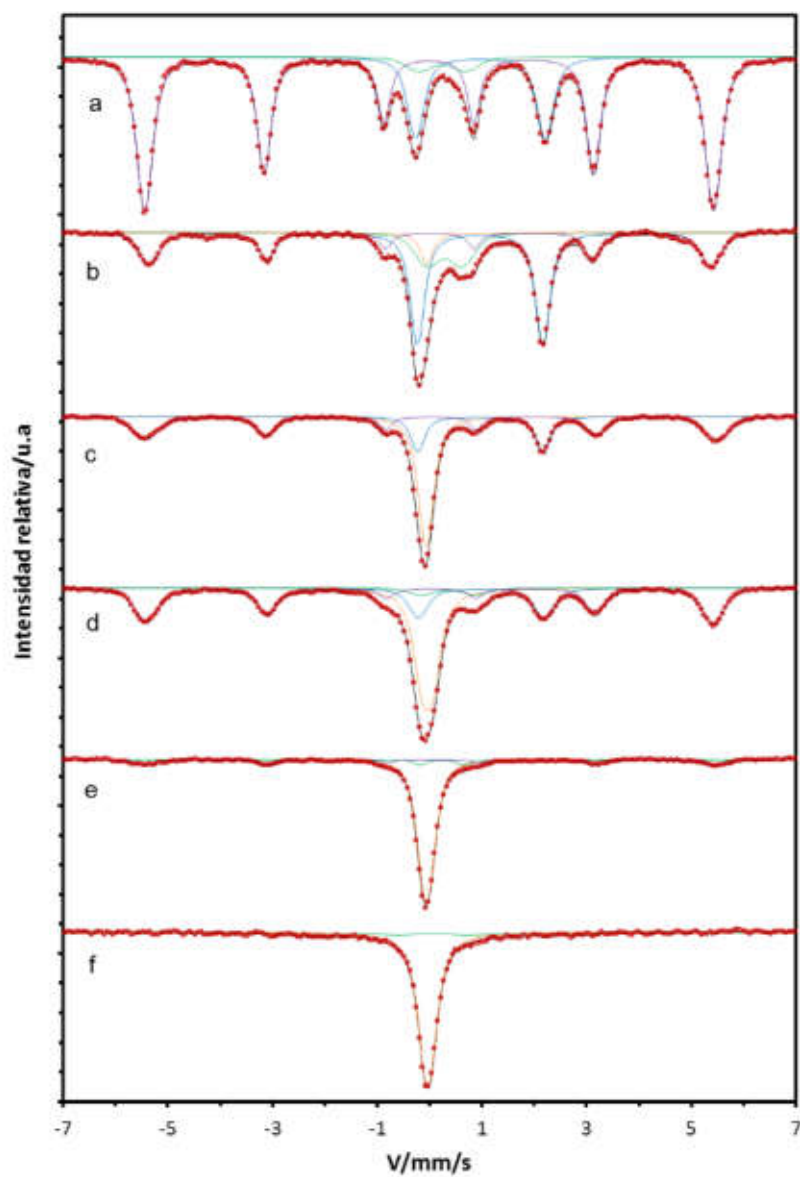


Fig. 4. Espectros Mössbauer a 295 K de muestras de $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$.

principalmente, pero también contribuye la fase $\text{Fe}_{2.6}\text{Ni}_{1.4}$, en $x = 0.20$ y $x = 0.30$. Ambas son aleaciones ricas en níquel y se reportan como fases γ (FCC).

Se ha reportado (Kaloshkin *et al.*, 2001; Abdu *et al.*, 2004; Valderruten *et al.*, 2006) que las aleaciones Fe-Ni ricas en Ni, generalmente, exhiben la coexistencia de ferromagnetismo y paramagnetismo a temperatura ambiente. La fase ferromagnética presenta un campo hiperfino H_f próximo a 30 T, mientras que la fase paramagnética se caracteriza por un singlete con CS dentro del rango (-0.05 ± 0.01) mm/s. Abdu *et al.* (2004) atribuyen la coexistencia del ferromagnetismo (sextete) y el paramagnetismo (singlete) a una segregación en dos fases γ (FCC) –una rica en Ni (ferromagnética) y otra rica en Fe (paramagnética)- favorecidas por la difusión atómica a nivel de grano, fuertemente dependiente de la temperatura. Este grupo de investigadores encontró la coexistencia de ferromagnetismo y paramagnetismo en las aleaciones $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$ ($x = 0.21, 24$ y 27) producido por aleamiento mecánico AM a temperatura ambiente. Abdu *et al.* (2004) calentaron las aleaciones $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$ a 650°C por una hora y reportaron la desaparición de la fase ferromagnética y el incremento de la fase paramagnética. Nuestros resultados indican que a temperatura ambiente estas aleaciones ricas en Ni (tipo $\text{Fe}_{0.612}\text{Ni}_{0.388}$) pueden manifestar sólo su carácter paramagnético. No se observa campos hiperfinos cercanos a 30 T, lo que descarta la presencia de ferromagnetismo en estas aleaciones.

Las reducciones carbotérmicas están ampliamente documentadas, se han utilizado en la industria para reducir óxidos metálicos a metales puros (Evans & DeJonghe, 1991). En los métodos de síntesis de materiales para electrodos de baterías de ion de litio frecuentemente se utiliza un exceso de carbono, sea mediante el uso de compuestos orgánicos (oxalatos o acetatos) que contienen carbono o por su aplicación directa, en condiciones reductoras. Esto permite la reducción selectiva de algunos precursores (e.g. Fe_2O_3 , Qu *et al.*, 2012) y proporciona un pequeño exceso de carbono residual (Armstrong *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2010; Deng *et al.*, 2011). Si la temperatura de calcinación está cerca o es mayor que la requerida para la reducción de los materiales precursoras o formados en la ruta sintética, las

condiciones de reducción se extreman posibilitando la reducción de los cerámicos a metales (Barker *et al.*, 2003).

De los resultados se colige que los ortosilicatos de hierro y níquel, $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$, son propensos a experimentar una reducción carbotérmica. La reacción entre el carbono y $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ resulta en la oxidación del carbono a CO o CO_2 y la reducción de los iones de Fe y Ni en la red para formar aleaciones de $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$. Este tipo de reacciones se ha utilizado recientemente para reducir Fe^{3+} a Fe^{2+} para formar LiFePO_4 a partir de precursores de Fe^{3+} , en los que se controla cuidadosamente la presión parcial de oxígeno y la temperatura para inhibir la formación de fosfuro de hierro (Barker *et al.*, 2003). Las altas temperaturas resultan en la reducción a Fe_2P cuando grandes cantidades de carbono están presentes (Ellis *et al.*, 2007). Zuo *et al.* (2012) reportan que la presencia de carbono previene la oxidación del Fe^{2+} y facilita la reducción del Fe^{3+} .

CONCLUSIONES

Se prepara un material compuesto de $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ por un método de estado sólido usando sucrosa como fuente de carbono. Las temperaturas de calcinación resultaron ser severas, por lo que los ortosilicatos sufrieron una reducción carbotérmica, formándose aleaciones metálicas de $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x$ como fases predominantes en el material.

Se propone que los tiempos y temperaturas de calcinación sean disminuidos, de manera tal que se mantenga la integridad estructural del material compuesto $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ que consista del ortosilicato dopado con níquel, $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$, con un recubrimiento conductor de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Uno de los autores, MJ, agradece el apoyo de SENACYT por su ayuda a través del proyecto APY-GC10 OO4 B para realización de una “pasantía para la generación de capacidades científicas y tecnológicas en la mecano-síntesis y caracterización de materiales cristalinos y nanoestructurados” en la Universidad del Valle en Colombia.

REFERENCIAS

- Abdu, Y., T. Ericsson & H. Annersten. 2004. Coexisting antiferromagnetism and ferromagnetism in mechanically alloyed Fe-rich Fe–Ni alloys: implications regarding the Fe–Ni phase diagram below 400 °C. *J. Magn. Magn.Mater.* 280: 395–403.
- Armstrong, A. R., N. Kuganathan, M. S. Islam & P. G. Bruce. 2011. Structure and lithium transport pathways in $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ cathodes for lithium batteries. *J. Am. Chem. Soc.* 133(33): 13031-13035.
- Barker, J., M., Y. Saidi & J.L. Swoyer. 2003. Lithium Iron(II) Phospho-olivines Prepared by a Novel Carbothermal Reduction Method. *Electrochem. Solid-State Lett.* 6(3): A53-A55.
- Betancur, J., J. Restrepo, O. Arnache, J. Mazo-Zuluaga, A. Morales, C. Barrero & A. Bohórquez. 2002. Análisis Mössbauer de la Transformación Hematita a Magnetita bajo tratamiento térmico en atmósfera controlada. *Rev. Colomb. Fis.* 34: 410-414.
- Chen, W.H., M. Lan, D. Zhu, C. Wang, S. Xue, C.C. Yang, Z.X. Li, J. Zhang & L.W. Mi. 2013. Synthesis, characterization and electrochemical performance of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ for lithium-ion batteries *RSC Advances* 3: 408-412.
- J. Cui, C. Qing, Q. Zhang, C. Su, X. Wang, B. Yang & X. Huang. 2014. Effect of the particle size on the electrochemical performance of nano- $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ composites. *Ionics* 20: 23-28.
- Deng, C., S. Zhang, S.Y. Yang, B.L. Fu & J. Ma. 2011. Synthesis and characterization of $\text{Li}_2\text{Fe}_{0.97}\text{M}_{0.03}\text{SiO}_4$ ($\text{M}=\text{Zn}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Ni}^{2+}$) cathode materials for lithium ion batteries *J. Power Sources* 196: 386–392.
- Dominko, R., D.E. Conte, D. Hanzel, M. Gaberscek & J. Jamnik. 2008. Impact of synthesis conditions on the structure and performance of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$. *J. Power Sources* 178: 842-847.
- Ellis, B., P. Subramanya Herle, Y.-H. Rho, a L. F. Nazar, R. Dunlap, Laura K. Perry & D. H. Ryan. 2007. Nanostructured materials for

lithium-ion batteries: Surface conductivity vs. bulk ion/electron transport. *Faraday Discuss.* 134: 119–141.

Evans, J.W & L. C. DeJonghe. 1991. *The Production of Inorganic Materials*, Macmillan, New York. p. 64.

Fontcuberta, J., & J. Rodriguez. 1986. Structural and magnetic characterization of the lithiated iron oxide $\text{Li}_x\text{Fe}_3\text{O}_4$. *J. Appl. Phys.*, 59, 1918-1926.

Gong, Z.L., Y.X. Li, G.N. He, J. Li & Y. Yang. 2008. Nanostructured $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ Electrode Material Synthesized through Hydrothermal-Assisted Sol-Gel Process. *Electrochem. Solid-State Lett.*, 11 A60-A63.
Guo, H., X. Cao, X. Li, L. Li, X. Li, Z. Wang, W. Peng & Q. Li. 2010. Optimum synthesis of $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ cathode for lithium ion batteries. *Electrochim. Acta* 55(27): 8036-8042.

Guo, H., K. Xiang, X. Cao, X. Li, Z. Wang & L. Li. 2009. Preparation and characteristics of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ composite for cathode of lithium ion batteries. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 19: 166-169.

Huang, X., X. Li, X. Wang, H. Pan, Z. Qu, M. & Z. Yu. 2010. Synthesis and electrochemical performance of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ as cathode material for lithium batteries, *Solid State Ionics* 181: 1451-1455.

Jugović, D., M. Milović, V.N. Ivanovski, M. Avdeev, R. Dominko, B. Jokić, & D. Uskoković. 2014. Structural study of monoclinic $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ by X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy. *J. Power Sources* 265: 75-80.

Kaloshkin, S., V. Tcherdyntsev, I. Tomilin, Y. Baldokhin & Shelekhov, E. (2001). Phase transformations in Fe–Ni system at mechanical alloying and consequent annealing of elemental powder mixtures. *Physica B: Condensed Matter* 299: 236–241.

Lee, I.K., S.J. Kim, T. Kouh & C.S. Kim. 2013. Mössbauer analysis of silicate $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ and delithiated $\text{Li}_{2-x}\text{FeSiO}_4$ ($x=0.66$) compounds. *J. Appl. Phys.* 113: 17E306.

Larson, A., & R. Von Dreele. 2004. General Structure Analysis System (GSAS), Los Alamos National Laboratory Report. LAUR, 86-748.

Li, L.M., H.J. Guo, X.H. Li, Z.X. Wang, W.J. Peng, K.X. Xiang & X. Cao. 2009. Effects of roasting temperature and modification on properties of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ cathode
J. Power Sources 189: 45-50.

Lv, D., W. Wen, X. Huang, J. Bai, J. Mi, S. Wu & Y. Yang. 2011. A novel $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ composite: Synthesis, characterization and high storage capacity. J. Mater. Chem. 21: 9506-9512.

Mali, G., C. Sirisopanaporn, C. Masquelier, D. Hanzel & R. Dominko. 2011. $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ Polymorphs Probed by ^6Li MAS NMR and ^{57}Fe Mössbauer Spectroscopy. Chem. Mater. 23: 2735–2744.

Nishimura, S., S. Hayase, R. Kanno, M. Yashima, N. Nakayama & A. Yamada. 2008. Structure of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$. J. Am. Chem. Soc. 130: 13212–13213.

Nytén, A., S. Kamali, L. Häggström, T. Gustafsson & J. Thomas. 2006. The lithium extraction/insertion mechanism in $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$. J. Mater. Chem. 16: 2266–2272.

Obrovac, M., R. Dunlap, R. Sanderson & J. Dahn. 2001. The Electrochemical Displacement Reaction of Lithium with Metal Oxides. J. Electrochem. Soc. 148: A576-A588.

Politaev, V., A. Petrenko, V. Nalbandyan, B. Medvedev & E. Shvetsova. 2007. Crystal structure, phase relations and electrochemical properties of monoclinic $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$. J. Solid State Chem. 180: 1045–1050.

Qu, L., S.H. Fang, L. Yang & S.I. Hirano. 2012. $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ cathode material synthesized by template-assisted sol-gel process with Fe_2O_3 microsphere. J. Power Sources 217: 243-247.

Shao, B. & I. Taniguchi. 2012. Synthesis of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ nanocomposite cathodes for lithium batteries by a novel synthesis route and their electrochemical properties. *J. Power Sources* 199: p. 278-286.

Sirisopanaporn, C., C. Masquelier, P. Bruce, A. Armstrong, , & Dominko, R. (2011). Dependence of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ Electrochemistry on Structure. *J. Am. Chem. Soc.* 133: 1263–1265.

Valderruten, J., G. Pérez, & J. Greneche. 2006. Estudio de aleaciones Fe-Ni producidas por aleamiento mecánico. *Rev. Colomb. Fis.* 38: 97-100.

Vucinic, M., B. Antic, J. Blanus, S. Rakic, A. Kremenovic, A. Nikolic & A. Kapor. 2006. Formation of nanosize Li-ferrites from acetylacetonato complexes and their crystal structure, microstructure and order–disorder phase transition. *Appl. Phys. A*, 82: 49–54.

Wu, X.Z., X. Jiang, Q.S. Huo & Y.X. Zhang. 2012. Facile synthesis of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ composites with triblock copolymer P123 and their application as cathode materials for lithium ion batteries *Electrochim. Acta* 80: 50-55.

Yan, Z., S. Cai, L. Miao, X. Zhou & Y. Zhao. 2012. Synthesis and characterization of in situ carbon-coated $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ cathode materials for lithium ion battery. *J. Alloys Compd.* 511(1): 101-106.

Zhang, S., C. Deng, B. Fu, S. Yang & L. Mab. 2010. Doping effects of magnesium on the electrochemical performance of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ for lithium ion batteries. *J. Electroanal. Chem.* 644: 150–154.

Zuo, P., T. Wang, G. Cheng, X. Cheng, C. Du & G. Yin. 2012 Effects of Carbon on Structure and Electrochemical Performance of $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ Cathode Materials for Lithium-ion Batteries *RSC Adv.* 2: 6994-6998.

Recibido diciembre de 2013, aceptado junio de 2014.