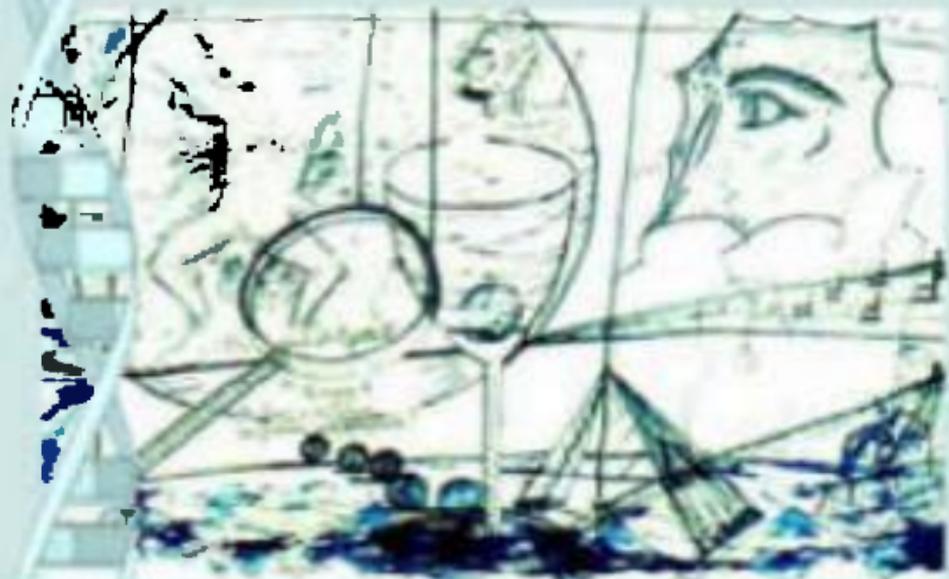


ISSN 1808-8092



Biología-Química-Física
Matemática-Estadística

TECNOCIENCIA



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



SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y CRISTALOGRAFÍA DE 4-FENIL-6-(4-BROMOFENIL)[2,1-B]IMIDAZOTIAZOL A PARTIR DE 2-AMINO-4-FENILTIAZOL

Hiram Pérez^a, Ana M. Plutin^a, Raúl Mocoelo^a, Georgina Agüero^a, Joelis Rodríguez^b, Ramón Pomés^c, Yanay Terrero^a y Raúl Ramos^a.

^a Universidad de la Habana, Facultad de Química, Laboratorio de Síntesis Orgánica, Zapata s/n entre Carlitos Aguirre y G. Vedado, Ciudad Habana, CP 10400, Cuba
E-mail: hperez@fq.uh.cu.

^b Universidad de la Habana, Facultad de Física, Cuba. E-mail: joelis@fisica.uh.cu.

^c Grupo Cubanacán, Calle 68 entre 5ta. y 5ta. A, Miramar, C. Habana, Cuba.

E-mail: rpomes450@yahoo.com.

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

RESUMEN

En este trabajo se reporta la síntesis del 4-fenil-6-(4-bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol (II) a partir de 2-amino-4-feniltiazol (I). Se realizó la caracterización química de ambos compuestos mediante las técnicas de IR y RMN, así como la caracterización cristalográfica por DRX mediante la técnica de polvo. En el espectro IR de I se observan las vibraciones de valencia N-H del grupo NH₂ (3440 y 3260 cm⁻¹), las de sobretono aromático que indican la monosustitución en el anillo fenílico (1605 y 770 cm⁻¹), y las de los enlaces C=N y C-N del anillo tiazólico (1530 y 1280 cm⁻¹). En el espectro IR de II se observan sus bandas características (Csp²-H y C=N sim. y asim.), en acuerdo con reportes de la literatura. En el espectro RMN-¹H de I se observa la señal del protón del grupo tiazólico (7.80 ppm). En el espectro de II se observan los corrimientos químicos característicos de los protones H2',6' (7.62 ppm) y H3',5' (7.90 ppm) del grupo fenilo en la posición 2 del anillo imidazólico. En el espectro RMN-¹³C de II se observan las señales de los átomos de carbono C9a, C4a y C8a característicos del grupo imidazotiazol (174.1, 166.9 y 121.1 ppm), así como las señales correspondientes a los átomos de carbono del grupo fenilo. Se obtuvieron difractogramas que evidencian una alta cristalinidad de las muestras. Se determinaron y refinaron los parámetros reticulares de la celda unitaria de ambos compuestos. El compuesto I cristalizó en el sistema tetragonal (a = 12.143 (1), c = 5.771 (2) Å, y grupo espacial P4/nmm) y el II en el ortorrómbico (a = 12.183 (4) b = 12.150 (10) c = 5.769 (2) Å, y grupo espacial Pnmm). Esta ligera disminución

de la simetría se corresponde con la presencia del átomo de bromo en el anillo bencénico del compuesto II.

PALABRAS CLAVES

imidazotiazoles / 2-amino-4-feniltiazol / 4-fenil-6-(4'bromofenil) [2,1-b]imidazotiazol / difracción de rayos x / caracterización química.

ABSTRACT

The synthesis of 4-phenyl-6-(4'bromophenyl)[2,1-b]imidazothiazol (II) from 2-amino-4-phenylthiazol (I) is reported in the present paper. Both compounds were investigated using NMR and IR techniques, as well as x-ray powder diffraction. IR spectral data of compound I show N-H stretching and bending frequencies of the NH₂ group (3440 and 3260 cm⁻¹), the aromatic overtone indicating monosubstituted phenyl ring (1605 and 770 cm⁻¹), and the C=N and C-N frequencies of thiazolic ring (1530 and 1280 cm⁻¹). IR spectral data of compound II exhibit characteristic bands (Csp²-H and C=N sym. y asym.) as reported in previous references. ¹H-NMR signals of compound I show the thiazolic group proton (7.80 ppm) and those corresponding to compound II characteristic chemical shifts of H2',6' (7.62 ppm) and H3',5' (7.90 ppm) protons of the phenylic group bonded at position 2 of the imidazole ring. ¹³C-NMR spectral data of the compound II show characteristic C9a, C4a and C8a signals of the imidazole group (174.1, 166.9 and 121.1 ppm) as well as carbon signals of the phenyl group. X-ray diffraction patterns exhibit sharp intensity maxima, which result from the high crystallinity of the two solid phases (low background and no amorphous zone). All patterns were indexed. The cell parameters were determined and refined. Crystals of compound I are tetragonal, a = 12.143 (1), c = 5.771 (2) Å, space group P4/mmm; Crystals of compound II are orthorhombic, a = 12.183 (4), b = 12.150 (10), c = 5.769 (2) Å, space group Pmmm. The structures of these compounds agree with their IR, ¹H-NMR and x-ray diffraction spectra.

KEYWORDS

imidazothiazoles / 2-amino-4-phenylthiazol / imidazo[2,1-b]thiazoles / x-ray powder diffraction / chemical characterization.

INTRODUCCIÓN

Existen en la literatura numerosos reportes acerca de la gran importancia de los compuestos tiazólicos por su amplio espectro de actividad biológica, resultando conocidos los derivados de esta familia de heterociclos por sus propiedades fungicidas y bactericidas, y como intermediarios en la síntesis de imidazotiazoles. Por ejemplo, el 2-amino-4-feniltiazol, C₉H₈N₂S (Fig.1) y el 2-benzoilamino -4-

feniltiazol se utilizan en la obtención de imidazo[2,1-b]tiazoles, los cuales presentan notable actividad en el sistema nervioso central. Se han reportado tiazoles (Bramley, Dupplin, Goberdhan & Meakins, 1987) mediante la condensación de α -halógeno cetonas con tioureas monosustituidas en solventes neutros. Con posterioridad, se logró desarrollar una novedosa síntesis selectiva (Landreau, Deniaud & Meslin, 2003) de diferentes compuestos diheterocíclicos, y entre ellos los del tipo imidazo[2,1-b]tiazoles, utilizando tioureas como material de partida, que fueron preparadas mediante doble condensación. En trabajos aún más recientes (Metwally, Abdel-Atif, Amer, Kaupp, 2004) se ha revisado la síntesis de numerosos derivados de 2-aminotiazoles, así como sus reacciones en función de la alta reactividad del grupo amino y de las posiciones 3 y 5 del anillo tiazólico.

Los derivados del tipo 6-fenil 5X-imidazo[2,1-b]tiazoles son compuestos heterocíclicos que tienen un amplio uso en diferentes ramas de la medicina. Por otra parte, se ha reportado una serie de derivados de los 6-fenil-5X-imidazo[2,1-b] tiazoles, especialmente los derivados carbonílicos de la hidrazona, que presentan una buena acción anti-cancerígena, especialmente antileucémica (Andreani, Bonazzi, Rambaldi, 1982). En los últimos años se han obtenido y caracterizado más de 40 derivados de este tipo de tiazoles (Trapani, Franco, Latrofa, Reho, Liso, 2001) que presentan grupos funcionales en su estructura, tales como ésteres y amidas de los ácidos carboxílicos de cadenas largas, encontrándose que presentan "in vitro" efectos inmunológicos en la expresión de los linfocitos T humanos por el receptor CD₂ (Harraga, Nicod, Drouhin, Xiclunche, 1994).

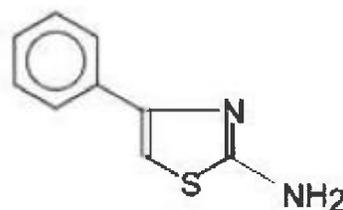


Fig. 1. Estructura molecular del 2-amino-4-feniltiazol.

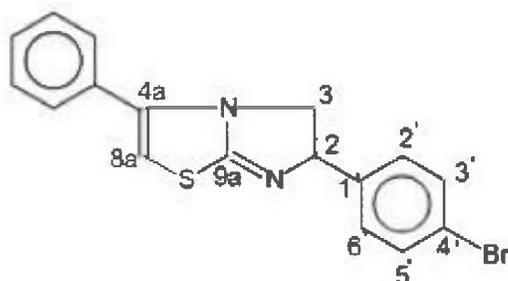
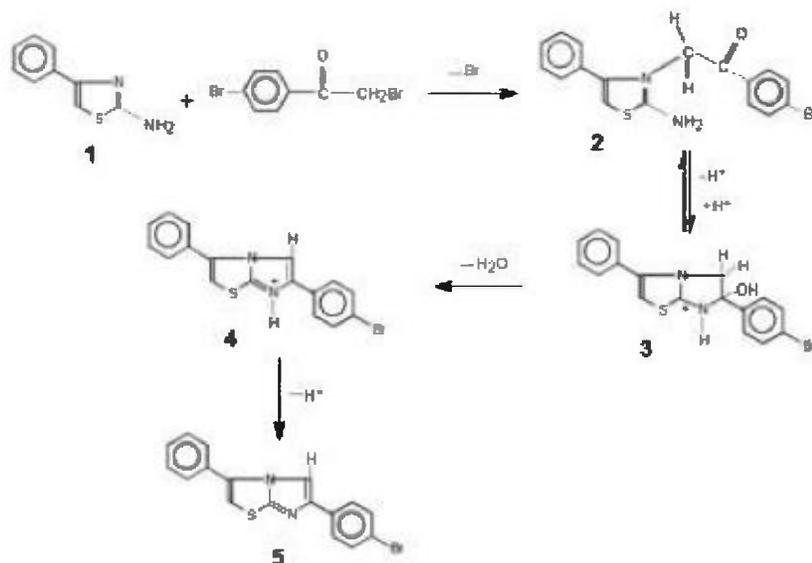


Fig.2. Estructura molecular del 4-fenil-6-(4' bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol.

En el presente trabajo se describe la síntesis y la caracterización química y cristalográfica del 4-fenil-6-(4' bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol, $C_{16}H_{11}N_2SBr$ (Fig. 2), a partir de 2-amino-4-feniltiazol, el cual también fue sintetizado y caracterizado mediante técnicas espectroscópicas y de difracción de rayos x. Este trabajo contribuye a una mejor comprensión de las propiedades y aplicaciones de los [2,1-b]imidazotiazoles y de sus compuestos precursores.

En el esquema de abajo se muestra el mecanismo, en cuatro pasos, de la síntesis del 4-fenil-6-(4' bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol.



MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis de 2-amino-4-feniltiazol

La síntesis se lleva a cabo en un balón de 100 mL, en el cual se mezclan 12 g (0.1 mol) de acetofenona, 25.4 g (0.11 mol) de iodo y 15.2 g (0.2 mol) de tiourea. La mezcla se calienta 8 horas en baño de agua. Finalizado ese tiempo, se vierte sobre hielo el producto obtenido, se filtra al vacío, y se lava con éter etílico, obteniéndose el ioduro de 2-amino-4-feniltiazol. Este producto se disuelve en 50 mL de agua destilada y se alcaliniza con amoníaco 25 % hasta pH =11 obteniéndose un sólido de color amarillo con un 90 % de rendimiento.

Síntesis de 4-fenil-6-(4'-bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol

El procedimiento de síntesis consiste en adicionar 10.6 g (50 mmol) de bromuro de 4-bromofenacilo a una disolución de 5.1 g (50 mmol) de 2-amino-4-feniltiazol en 60 mL de acetona seca. La mezcla de reacción se calienta a reflujo en un baño de agua durante dos horas. Posteriormente se enfría, y la sal formada se lava con acetona, se seca y se trata con 200 mL de agua y 50 mL de una disolución 2 mol/L de HBr a reflujo durante una hora. La disolución se enfría y se alcaliniza con una disolución de NH₄OH (ac) 32% hasta reacción fuertemente alcalina (pH =10). Se filtra al vacío el sólido de color amarillo que precipita, y se recristaliza en etanol, obteniéndose un 80 % de rendimiento.

Las temperaturas de fusión se determinaron en un equipo de calentamiento por horno Electrothermal, modelo 9100, en capilares abiertos, y las temperaturas no fueron corregidas.

Los espectros IR se registraron en la región de 400 a 4000 cm⁻¹ en un espectrofotómetro Philips FTIR PU 9800. Las muestras se prepararon en pastillas de KBr a temperatura ambiente.

Los espectros de RMN-¹H y RMN-¹³C se registraron en un espectrómetro de pulso y transformada de Fourier Brucker AC-250F, a las frecuencias de 250M Hz (¹H) y 62.8 MHz (¹³C). La naturaleza de los átomos de C-13 se determinó mediante la técnica de edición espectral DEPT, con pulsos protónicos de 135 y 90°. La muestra se disolvió en CDCl₃ y se utilizó TMS como referencia interna.

Los patrones de difracción de rayos x fueron obtenidos con radiación K_{α} Cu en un difractor automático de polvo TUR M62 operado a 40 Kv y 20 mA, calibrado con standard externo de Si (Pomés, 1997) y provisto de un goniómetro HZG4 equipado con un generador Diffractis ENRAF NONIUS, y un monocromador secundario de grafito. Dichos patrones se registraron a 25(1)°C de 5 a 60° (2 θ), con un paso angular de 0.05° y un tiempo de 5 segundos en cada punto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura de fusión del 2-amino-4-feniltiazol (I) fue de 150-151°C, y la del producto final 4-fenil-6-(4'-bromofenil)[2.1-b]imidazotiazol (II) fue de 146-147°C.

En el Cuadro I se reportan los resultados de la caracterización de ambos compuestos (I y II) mediante la técnica de IR.

Cuadro I. Espectros IR de los compuestos I y II.

Comp.	Frecuencia máxima de vibración (cm ⁻¹)
I	3440 (v N-H sim); 3260 (v N-H asim); 3157 (v ϕ -H sim), 3120 (v ϕ -H asim); 1605 (v C - C ϕ); 1530 (v C=N asim); 1280 (γ C-N); 770 (γ C-H).
II	3010 (v Csp ² -H), 1586 (v C = C arom), 1533 (v asim C = N), 1395 (v sim C = N), 729 (v C-H).

En el compuesto de partida (I) se observan bandas en 3440 cm⁻¹ y 3260 cm⁻¹ que corresponden a vibraciones de estrechamiento N-H simétrica y asimétrica del grupo NH₂. Así mismo, se detectan bandas en 3157 cm⁻¹ y 3120 cm⁻¹ que se deben a la vibración de estrechamiento simétrica y asimétrica del enlace C-H aromático. También se observa la señal característica de sobretono aromático en 1605 cm⁻¹, así como la señal a 770 cm⁻¹, las cuales indican la monosustitución en el anillo fenílico. Adicionalmente se observa una señal en 1600 cm⁻¹ que indica la presencia de doble enlace C=C aromático. A menores longitudes de onda aparecen bandas en 1530 y 1280 cm⁻¹, asignables a los enlaces C=N y C-N respectivamente, del anillo tiazólico. La asignación de las bandas de IR de este compuesto

está en correspondencia con datos de la literatura (Silverstein, Bassler, Movrill, 1983).

En el compuesto final (II) se observan las bandas características de los imidazotiazoles, muy similares a las reportadas en compuestos imilares (Andreani, Rambaldi, Locatelli, Pifferi, Malandrino, 1992) y dentro del intervalo establecido para cada vibración de valencia (Silverstein *et al.*, 1983).

En los Cuadros 2 y 3 se muestran los resultados de RMN-¹H de los compuestos I y II así como los de RMN-¹³C del compuesto II, que es el de mayor interés en este trabajo.

Cuadro 2. Espectros RMN-¹H de los compuestos I y II en DMSO-d₆ (A) y CDCl₃ (B).

Comp.	Solv.	δ (ppm)
I	A	8.08 (2H s, NH ₂); 7.80 (1H tiazol); 7.86 (2H fenilo); 7.42 (2H fenilo); 7.31 (1H fenilo).
II	B	5.4 (1H, d H3), 7.90 (2H, d H3,5), 7.62 (2H, d H2,6).

La señal fuerte en 8.08 ppm en el compuesto I se asigna a los protones del grupo amino. Se observa también una señal en 7.80 ppm que se asigna al protón del grupo tiazólico, así como las señales protónicas características del grupo fenilo, en 7.86, 7.42 y 7.31 ppm. La asignación de estas señales está en correspondencia con datos de la literatura (Silverstein *et al.*, 1983).

En el espectro del imidazotiazol (II) se observan los corrimientos químicos característicos de los protones H2',6' (7.62 ppm) y H3',5' (7.90 ppm) del grupo fenilo sustituido en la posición 2 del anillo imidazólico (Fig.2). La señal de los protones H2',6' aparece más desblindada que la de los H3',5' debido a que los primeros están más cercanos al anillo imidazólico del imidazotiazol.

Cuadro 3. Espectro RMN-¹³C del compuesto II en CDCl₃ (B).

Comp.	Solv.	δ (ppm)
II	B	174.1 (C9a), 166.9 (C4a), 146.6 (C'4),
		143.3(C1'),132.8 (C2),
		132.1 (C3' y C5'), 127.3 (C2' y C6'), 121.1(C8a)

En el espectro RMN-¹³C del compuesto II se observan las señales de los átomos de carbono C9a, C4a y C8a característicos del grupo imidazotiazol (Fig.2), así como las señales correspondientes a los átomos de carbono del grupo fenilo. Los corrimientos químicos observados están asignados en correspondencia con los reportados para compuestos similares (Trapani, Franco, Latrofa, Carotti, Genchi, Serra, Biggio, Liso, 1996).

En las Figuras 1 y 2 se muestran los patrones de difracción de polvos de ambos compuestos. En los mismos se observan máximos de difracción bien definidos, por lo que las dos fases sólidas fueron obtenidas con alta cristalinidad (bajo fondo y ausencia de zonas amorfas en las muestras).

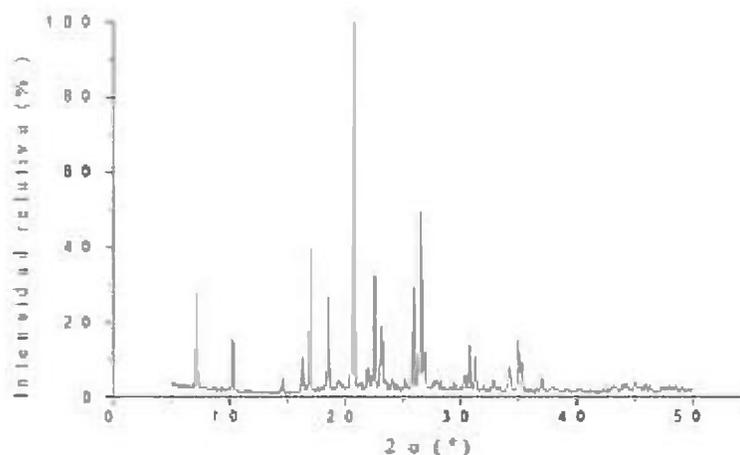


Fig. 3. Patrón de difracción del 2-amino-4-feniltiazol.

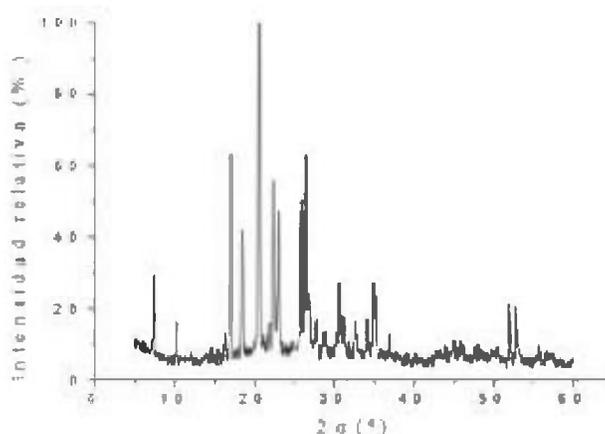


Fig.4. Patrón de difracción del 4-fenil-6-(4'bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol.

En los Cuadros 4 y 5 se reportan los datos cristalográficos obtenidos. Los parámetros iniciales de la celda unitaria fueron obtenidos con el Programa de adjudicación de índices TREOR90 (Werner, 1990), obteniéndose las figuras de mérito $M(16) = 71$ y $F(16) = 88$ para el 2-amino-4-feniltiazol, y $M(19) = 21$ y $F(19) = 17$ para el 4-fenil-6-(4'bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol. Los valores de las figuras de mérito son lo suficientemente altos como para considerar que hay adecuada confiabilidad en los indexados que se realizaron. Además, se logró adjudicar índices de Miller al 100% de las reflexiones.

Se refinaron los parámetros reticulares con ayuda del Programa de Refinamiento por Mínimos Cuadrados LSUCRI (Garvey).

Cuadro 4. Datos de difracción de polvo del 2-amino-4-feniltiazol.

Rad K_{α} Cu ($\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$)			Monocromador de grafito		
Sistema Tetragonal			Grupo Espacial: P4/mmm		
$a = 12.143 (1) \text{ \AA}$ $c = 5.771 (2) \text{ \AA}$			$V = 851.0 (2) \text{ \AA}^3$		
h	k	l	$2\theta_{obs} (^{\circ})$	$d_{obs}(\text{\AA})$	I/I_0
1	0	0	7.245	12.2003	26
1	1	0	10.274	8.6096	15
2	0	0	14.588	6.0717	5
2	1	0	16.311	5.4342	11
1	0	1	17.003	5.2145	38
1	1	1	18.518	4.7912	28
2	2	0	20.677	4.2955	100
3	0	0	21.947	4.0498	8
2	1	1	22.483	3.9543	32
3	1	0	23.146	3.8426	18
2	2	1	25.870	3.4439	29
3	2	0	26.467	3.3675	49
3	0	1	26.896	3.3148	12
3	2	1	30.355	2.9444	6
3	3	0	30.746	2.9079	14
1	1	2	31.261	2.8611	10
4	1	1	32.788	2.7613	5
3	3	1	34.182	2.6231	8
2	1	2	35.018	2.5623	14
5	0	0	37.022	2.4281	5

En el Cuadro 4 se observa que el 2-amino-4-feniltiazol cristaliza en el sistema tetragonal, lo cual está en correspondencia con la simetría de la molécula. En el Cuadro 5 se observa que el imidazol obtenido cristaliza en el sistema ortorrómbico. No obstante, puede observarse también que la diferencia en los valores de los parámetros reticulares entre estos dos compuestos es muy pequeña (del orden de las centésimas de angstrom), y por tanto estos resultados conducen a una diferencia de solo 3 \AA^3 en los volúmenes de sus respectivas celdas unitarias. Esta ligera disminución de la simetría se atribuye a la presencia del átomo de bromo sustituido en el anillo aromático.

Cuadro 5. Datos de difracción de polvo del 4-fenil-6-(4'-bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol.

Rad K_{α} Cu ($\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$)			Monocromador de grafito		
Sistema Ortorr6mbico			Grupo Espacial: Pnmm		
a = 12.183 (4) \AA , b = 12.150 (10) \AA , c = 5.769 (2) \AA			V = 854.0 (5) \AA^3		
h	k	l	$2\theta_{\text{obs}}(^{\circ})$	$d_{\text{obs}}(\text{\AA})$	I/I_0
1	0	0	7.238	12.1792	28
1	1	0	10.272	8.6055	16
2	1	0	16.263	5.4501	13
1	0	1	17.014	5.2112	62
1	1	1	18.520	4.7907	41
2	2	0	20.629	4.3054	100
3	0	0	21.893	4.0596	15
2	1	1	22.467	3.9572	54
3	1	0	23.062	3.8564	47
2	2	1	25.834	3.4486	48
3	2	0	26.411	3.3745	61
3	0	1	26.810	3.3252	23
3	1	1	27.732	3.2034	16
3	2	1	30.694	2.9127	27
3	3	0	31.179	2.8685	18
1	1	2	32.647	2.7352	16
4	1	1	34.120	2.6277	17
3	3	1	34.955	2.5668	26
2	1	2	35.222	2.5479	22
3	4	0	36.956	2.4324	12
2	2	3	52.066	1.7564	19
6	3	1	52.873	1.7316	16

CONCLUSIONES

La simetría de la molécula en el compuesto 2-amino-4-feniltiazol se corresponde adecuadamente con el empaquetamiento cristalino tetragonal, mientras que la simetría de la molécula en el compuesto 4-fenil-6-(4'-bromofenil)[2,1-b]imidazotiazol se corresponde con un empaquetamiento ortorr6mbico. Esta disminución de la simetría se debe a la presencia del átomo de bromo en el anillo bencénico. La caracterización química mediante las técnicas de IR y RMN, demuestra la certeza de la ruta de síntesis seleccionada, con adecuado rendimiento práctico.

REFERENCIAS

Andreani, A., D. Bonazzi, R. Rambaldi. 1982. Potential antitumor agents, VII. 5-Substituted 6-phenylimidazo[2,1-b]thiazoles. Arch. Pharm (Weinheim) 315(5): 451-456.

Bramley, (Miss) S. E., V. Dupplin, D.G. Goberdhan & G.D. Meakins. 1987. The Hantzsch Thiazole Synthesis under Acidic Conditions: Change of Regioselectivity. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I*, 639-643.

Garvey, R.G. 1986. LSUCRI PC Unit Cell Refinement with Indexing for the Personal Computer. *Powder Diffraction* (1), 114-116.

Harraga, S., L. Nicod, J. P. Drouhin & A. Xicluna. 1994. Imidazo[2,1-b]thiazole derivatives. XI: Modulation of the CD[2]-receptor of human T trypsinized lymphocytes by several imidazo[2,1-b]thiazoles. *Eur. J. Med. Chem.* 29(4): 309-315.

Landreau, C., D. Deniaud & J.C. Meslin. 2003. From Thiourea to Bicyclic Structures: An Original Route to Imidazo[2,1-b]thiazoles, 5*H*-Thiazolo[3,2-*a*]pyrimidines, 7*H*-Imidazo[2,1-b][1,3]thiazines, and 2*H*,6*H*-Pyrimido[2,1-*b*][1,3]thiazines. *J. Org. Chem.*, 68 (12), 4912-4917.

Metwally, M. A., E. Abdel-Latif, F.A. Amer, G. Kaupp. 2004. Versatile 2-amino-4-substituted-1,3-thiazoles: synthesis and reactions. *J. of Sulfur Chemistry*, 25, 1, 63-85.

Pomés, R., 1997. Análisis de fases cuantitativo usando difracción de rayos X" Editorial Quetzatcoal, México. p 87.

Trapani, G., M. Franco, A. Latrofa, A. Carotti, G. Genchi, M. Serra, G. Biggio & G. Liso. 1996. Synthesis and benzodiazepine receptor binding of some imidazo- and pyrimido[2,1-b]benzothiazoles. *Eur. J. Med. Chem.* 31(7): 575-587.

Trapani, G., M. Franco, A. Latrofa, A. Reho & G. Liso. 2001. Synthesis, in vitro and in vivo cytotoxicity, and prediction of the intestinal absorption of substituted 2-ethoxycarbonyl-imidazo[2,1-b]benzothiazoles. *Eur. J. Pharm. Sci.* 14(3): 209-216.

Werner, P. E., Eriksson, L. & Westdahl, M. 1985. TREOR, a semiexhaustive trial-and-error powder indexing program for all symmetries. *J. Appl. Crystallogr.* (18), 367-370.

Recibido octubre de 2004, aceptado abril de 2006.



DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE EMERGENCIA DE NEONATOS EN TORTUGA GOLFINA *Lepidochelys olivacea* (ESCHSCHOLTZ, 1829) EN ISLA CAÑAS, PACÍFICO PANAMEÑO

Yolani A. Robles P. y Angel Javier Vega

Escuela de Biología, CRU-Veraguas-Universidad de Panamá.

Email: angeljv@cwv.net.pa

RESUMEN

Entre agosto y octubre de 2002 se llevó a cabo un estudio sobre el porcentaje de emergencia de neonatos de la tortuga golfinia (*Lepidochelys olivacea*) en Isla Cañas, Pacífico panameño. Se utilizó un diseño experimental que incluyó tres zonas de la playa: zona de arribada, zona de no arribada y vivero. En la zona de arribada se establecieron tres tratamientos con cinco nidos en cada uno. El primero en playa descubierta, el segundo en borde de vegetación y el tercero dentro de vegetación. En la zona de no arribada se colocaron cinco nidos en playa descubierta y en vivero. En cada nido se colocaron 60 huevos. En cada zona se registró la temperatura y la humedad relativa a los 10 y 40 cm de profundidad, a las 9:00, 15:00 y 21:00 horas. Los mayores valores porcentaje de emergencia de neonatos se obtuvieron en vivero y playa descubierta (zona de no arribada), con 70 % y 60.4 %, sin diferencias significativas entre ellas, seguido por borde de vegetación 51 % y dentro de vegetación 23 %, ambos en zonas de arribada. En cuanto al tiempo de eclosión el mismo estuvo entre 54 y 65 días. Para la temperatura y humedad se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo cual influyó sobre los porcentajes de emergencia de neonatos, el tiempo de eclosión de los huevos y las tallas y pesos de los neonatos.

PALABRAS CLAVES

Lepidochelys olivacea, emergencia de neonatos, tiempo de incubación, Isla Cañas.

ABSTRACT

A research on the percentage of hatchlings of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) was carried out between August and October 2002 in Cañas Island.

Panamanian Pacific. The experimental design included three different zones of the beach: arrival zone, zone without arrival and hatchery. Three treatments with five nests in each one were established in the arrival zone: uncovered beach, in the border of vegetation and, in the vegetation. Five nets were placed on an uncovered beach at the zone of no arrival and other five nests in the hatchery. Each nest contained 60 eggs. The temperature and relative humidity were monitored at 10 and 40 cm deep, at 09:00, 15:00 and 21:00 hours. The highest values of the percentages of emergency of hatchlings were obtained in hatchery and uncovered beach (zone of no arrival), with 70% and 60.4 % without significant differences among them. The zone at the border of the vegetation showed 51 % and under the vegetation 23 %. The incubation period was between 54 and 65 days. Significant differences were found on temperature and humidity among experimental units, thus influencing the percentage of emergency of hatchlings, the hatching time and carapace length and weigh of neonate.

KEYWORDS

Lepidochelys olivacea, emergency hatchlings, incubation time, Cañas Island.

INTRODUCCIÓN

Entre las especies de tortugas, *Lepidochelys olivacea*, se considera la más abundante de las tortugas marinas en el ámbito mundial, situación que se sustenta por su distribución pantropical y por el hecho de que anida en concentraciones mayores (arribadas); sin embargo, su relativa abundancia, con respecto a otras tortugas marinas, se ha reducido severamente a lo largo del tiempo, en algunas áreas por factores como la sobreexplotación, la captura incidental de adultos por las diferentes artes de pesca y al escaso éxito de eclosión (Valverde & Gates, 2000).

Esto sugiere la importancia de considerar, en estudios en playas de anidación, la determinación del éxito de incubación a través de la determinación del éxito de eclosión y de emergencia de neonatos. Se obtiene información fundamental para la conservación y manejo de tortugas, pues es importante identificar cuales son los factores que influyen en dicho proceso al momento de adaptar una alternativa a la incubación de huevos (Millar, 2000).

Factores como número de huevos desovados, el diámetro y peso de los huevos, número que se incuba exitosamente, y el número de crías que emergen de los nidos, así como las crías que llegan a la playa, son importantes para entender el esfuerzo reproductivo de las tortugas marinas. Otro factor sumamente importante es la temperatura, que

influye en la supervivencia embrionaria, determina el sexo de las crías y establece la duración de la incubación (Wibbels *et al.*, 1998, Millar, 2000 y Merchant-Larios, 2000).

A pesar de las diferentes alternativas encontradas para la conservación de las tortugas, no se logra equilibrar las proporciones en el éxito de emergencia de neonatos, al comparar la incubación *in situ* o *ex situ*. Adicionalmente, hay que considerar el hecho de que son organismos longevos con una tardía edad de primera reproducción, así como un prolongado potencial reproductivo, característica que supone que la producción de crías no impactará sobre el reclutamiento a la población de hembras anidadoras, sino hasta un periodo de décadas posterior a la partida de las crías de su playa de eclosión (Richardson, 2000).

Por lo antes expuesto consideramos indispensable determinar el éxito de emergencia de neonatos en diferentes áreas de la playa de anidación de Isla Cañas, así como evaluar la influencia de la temperatura y la humedad relativa sobre dicho porcentaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Isla Cañas está situada a un costado de la ensenada de Búcaro en la costa Pacífica, Sur de la Península de Azuero entre las coordenadas geográficas 7° 22' 20'' y 7° 25' 33'' de latitud Norte y 80° 15' 41'' y 80° 20' 39'' de longitud Oeste. Como refugio de vida silvestre protege 25,433 ha de zonas costeras, manglares, playas oceánicas, esteros y áreas marítimas, incluyendo los más de 12 km de playa de la Isla, su clima tropical de sabana incluye una prolongada estación seca entre los meses de diciembre y abril, con una precipitación media anual entre 1300 – 1500 mm. La temperatura media anual es de 27 °C (Diccionario Geográfico de Panamá 1974, Navarro, 1998).

Determinación del porcentaje de emergencia de neonatos

Este ensayo se realizó entre el 1 de agosto y el 15 de octubre de 2002, para lo cual se planificó un diseño experimental completamente aleatorizado, seleccionando cinco localidades (tratamientos). En cada localidad se le dio seguimiento a cinco nidos (repeticiones) en cada uno de los cuales se colocaron 60 huevos “sembrados” a 40 cm de profundidad, similares a los excavados por las tortugas. Las

localidades fueron: arena descubierta, borde de la playa (límite de arena con vegetación), zona de vegetación (estos tres en zona de arribada), vivero y zona de anidación de tortugas solitarias (fuera de la zona de arribada). En esta última zona los nidos se colocaron en el límite de la arena con la vegetación. Para la protección de los nidos colocados fuera del vivero y para controlar la dispersión de los neonatos, una vez que emergieran, se confeccionaron jaulas de metal de 60 cm de alto, por un metro cuadrado de área, colocadas sobre cada nido; las mismas se enterraron en la arena hasta 30 cm de profundidad y por debajo del borde de la jaula se colocó una malla de metal. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza de una sola vía y la prueba de comparación múltiple LSD (Zar, 1984). Las comparaciones se realizaron para los porcentajes de emergencia de neonatos, peso del neonato, así como para largo del caparazón y ancho del caparazón, para lo cual se utilizó el paquete estadístico Statgraphics.

Determinación de la temperatura y la humedad relativa

Se llevó un control de temperatura y humedad relativa del sustrato en el vivero y en cada unidad experimental a 10 y 40 cm de profundidad. Esta actividad se realizó todos los días a las 9:00, 15:00 y 21:00 horas, para lo cual se utilizó un termómetro digital y una sonda. Para determinar si existían diferencias entre localidades, profundidad del nido y horas del día, los datos de temperatura y humedad fueron sometidos a un análisis de varianza, con comparación de promedios a través de la prueba LSD ($\alpha = 0.05$) (Zar, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura y humedad relativa

La temperatura a 40 cm de profundidad, en cada unidad experimental se mantuvo estable, entre 28 y 31 °C, con poca oscilación diaria. A los 10 cm la temperatura presentó mayor oscilación, registrándose valores entre 24 y 38 °C, los valores más altos se registraron en el vivero. En playa descubierta, borde de vegetación y vivero las oscilaciones de temperatura fueron mayores que dentro de vegetación, donde estos valores se mantuvieron entre 24.9 y 34.5 °C. A los 40 cm la temperatura se estabilizó entre 28 y 30 °C, con temperaturas superiores a 29 °C en playa descubierta, borde de vegetación y vivero, y por debajo de 29 °C dentro de vegetación (Fig. 1).

La menor variación de la temperatura se observó dentro de vegetación, independientemente de la profundidad. En playa descubierta se observó mayores oscilaciones, sobre todo a los 10 cm. Similar a lo que ocurrió en zona de no arribada, a los 40 cm de profundidad la temperatura presentó las menores oscilaciones disminuyendo la amplitud de variación a medida que nos alejamos de la línea de marea alta hacia la vegetación (Fig. 2).

La humedad relativa varió en cada unidad experimental. Dentro de vegetación y vivero la humedad se mantuvo estable entre 10 y 20 %, en borde de vegetación osciló entre 10 y 40 %. Las mayores oscilaciones se observaron en playa descubierta, registrándose valores entre 10 y 100 % de humedad, independiente de la profundidad (Fig. 1).

El régimen de humedad, independientemente de la profundidad, está controlado por la amplitud de marea. Los sitios seleccionados en esta zona fueron inundados por mareas de gran amplitud (mareas altas superiores a 5 m), lo que provocó registros de humedad de 100 % (Fig. 2).

En el caso de la temperatura el análisis de varianza aplicado encontró diferencias significativas entre localidades, hora y profundidad del nido. En el caso de las localidades, las temperaturas promedio más altas se alcanzaron en vivero, borde de vegetación y playa descubierta, sin diferencias significativas entre localidades, y las menores dentro de vegetación, las cuales son significativamente diferentes de las anteriores. En el caso de la profundidad, las temperaturas registradas a los 10 cm resultaron superiores a los registros de 40 cm. Las mayores temperaturas promedios se alcanzaron a las 15:00 horas, seguido por las 21:00 horas y las 9:00 horas, con diferencias significativas entre los tres momentos.

Con relación a la humedad, los menores valores promedios se registraron en vivero, dentro de vegetación y borde de vegetación en zona de no arribada sin diferencias significativas entre ellas. Las restantes localidades resultaron afectadas por la amplitud de marea, por lo que los registros de humedad resultaron significativamente más elevados que las zonas anteriores.

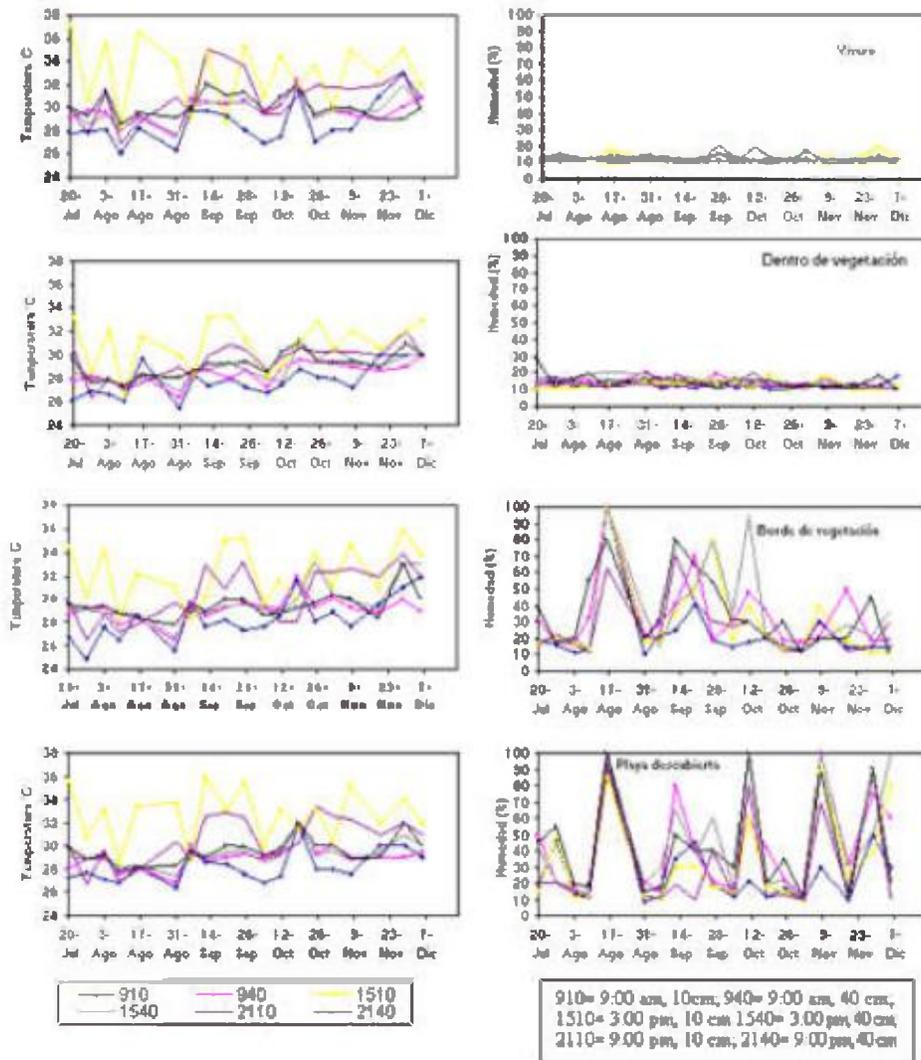


Fig. 1. Temperatura a 10 y 40 cm de profundidad en zona de no arribada y vivero.

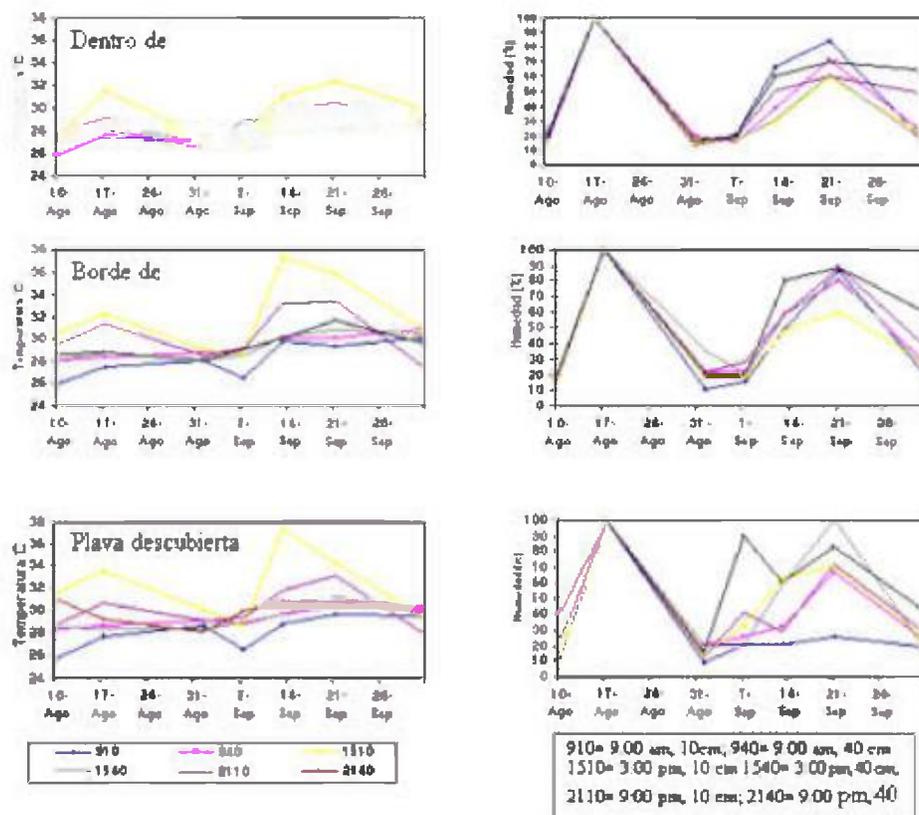


Fig. 2. Variación de la temperatura y la humedad relativa a 10 y 40 cm de profundidad en zona arribada.

Estos resultados son interesantes pues existen diferencias en la temperatura pivotal para la tortuga golfina según autor y localidad. Chacón *et al.* (2001), comunican como temperatura pivotal 29.13 °C. Wibbels *et al.* (1998) en Playa Nancite, Costa Rica, indican que la temperatura pivotal es más alta de lo comunicado por otros autores, pues encuentran que a 30.4 °C, hay predominancia de machos en proporción 16:3 y a 32 °C sólo se producen hembras, por lo que la temperatura pivotal debe estar entre 30.4 °C y 32 °C. Estos valores son similares a los comunicados por Valadez (2000), quienes encuentran que nidos mantenidos entre 32 y 34 °C produjeron sólo hembras, nidos mantenidos a 30.5 °C produjeron igual proporción de machos y hembras y nidos mantenidos entre 28 y 29 °C produjeron sólo machos. Martínez & Páez (2000) determinaron que la temperatura pivotal en playa la Cueva, Colombia, es de 30.5 °C. Hinestroza & Páez (2000),

determinan que en un ámbito de temperatura de incubación de 28.9 °C a 29.4 °C, con un promedio de 29.1 °C, la proporción sexual obtenida fue de 6:1 a favor de los machos. Este contraste entre diferentes autores y localidades sugiere que para Isla Cañas deben hacerse los estudios para determinar la temperatura pivotal para la población que anida en dicha localidad.

A diferencia de la temperatura, la humedad relativa es un parámetro que recibe mucha influencia de la amplitud de marea. De manera general, mientras mas alejada está la zona de incubación del efecto de las mareas menor es la humedad. Según Márquez (1996), la humedad óptima para la incubación de huevos de tortuga es de 14 %, humedad que se alcanza en vivero y partes superiores de la playa, sin influencia de las mareas (Fig. 3).

Tiempo de incubación y porcentaje de emergencia de neonatos

En los nidos experimentales colocados dentro del vivero los neonatos emergieron a los 54 días y un nido a los 55 días. Los nidos colocados en la playa, en zona de no arribada, demoraron entre 57 y 58 días; los colocados en zona de arribada y en borde de vegetación demoraron entre 57 y 60 días. Los colocados dentro de vegetación se decidió excavarlos a los 65 días encontrando que de los huevos que habían eclosionado, los neonatos estaban saliendo del nido. Los nidos colocados en playa descubierta fueron destruidos por la marea de 5.7 m de los primeros días de octubre. Con base en estos resultados podemos afirmar que el tiempo de incubación de los huevos de la tortuga golfina en Isla Cañas está entre 54 y 65, intervalo de tiempo que coincide con los valores registrados para esta especie; 46 a 56 días en playa Ostional, Costa Rica (Acuña 1983), de 44 a 65 días en México (Valádez *et al.*, 2000) y Centroamérica (Chacón *et al.*, 2001) y de 51 días en Colombia a temperatura promedio de 29.1 °C (Hinestroza & Páez, 2000). Según Hughes & Richard (1974) el periodo de incubación para la tortuga golfina es generalmente de 50 días, aunque puede alcanzar hasta 70 días o más en dependencia de las características de la arena en la cual los huevos son depositados. Martínez & Páez (2000) determinan que para temperaturas promedios entre 28.9 °C y 32.4 °C, el periodo de incubación disminuye con el aumento de la temperatura, de la misma forma que el aumento de la temperatura, por encima de 30 °C, tiende a producir mayor cantidad de hembras. Según Broderick *et al.* (2000), los machos en tortuga verde, *Chalonia mydas*, empiezan a aparecer en periodos de incubación de 56 días o más.

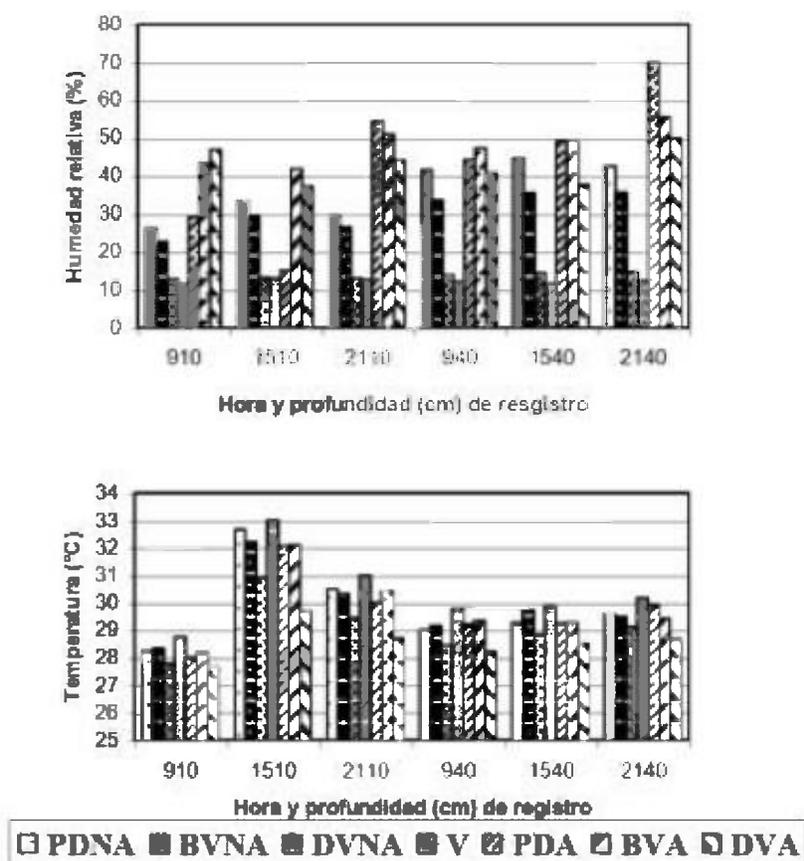


Fig. 3. Promedios de temperatura y humedad por hora, profundidad de muestreo y localidad. (PD = Playa descubierta, BV = Borde de vegetación, DV = Dentro de vegetación, V = Vivero, NA = Zona de no arribada y A = Zona de arribada.)

El análisis de varianza aplicado demostró diferencias significativas entre unidades experimentales ($P < 0.05$), lo que implica diferencias en las cantidades de neonatos emergidos por unidades experimentales. Ante estos resultados se aplicó la prueba LSD ($\alpha = 0.05$) obteniendo que los promedios de emergencia de neonatos son superiores en vivero y playa descubierta para zona de no arribada, con 70 % y 60.4 %, respectivamente, sin diferencias significativas entre ambos, seguidos por borde de vegetación en zona de arribada con 51 % de eclosión y el menor porcentaje se obtuvo dentro de vegetación (23 %). Estos resultados concuerdan con las observaciones de Vega & Robles (2005)

en el sentido de que las tortugas confeccionan sus nidos, en un mayor porcentaje, en playa descubierta pero cerca del borde de la vegetación, lugar donde la influencia de marea es menor y por lo tanto se alcanzan mayores valores de temperatura y menores valores de humedad.

Con relación a la morfometría de neonatos, el largo recto del caparazón y el peso de los mismos están dentro de lo esperado para la tortuga golfina (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación morfométrica de neonatos de *Lepidochelys olivacea* (LC: largo recto del caparazón AC: Ancho recto del caparazón y P: peso).

	LC (cm)	AC (cm)	P (g)
Este estudio	4.12 ± 0.18	3.44 ± 0.17	17.04 ± 2.34
Márquez (1996)	4.03	-	16.2
Pritchard y Mortimer (2000)	4.2	-	-

El análisis de varianza aplicado a las variables largo y ancho del caparazón, así como a peso del neonato encontró diferencias significativas para largo y peso ($P < 0.05$), pero no para ancho del caparazón ($P > 0.05$). Para largo del caparazón y peso del neonato, resultaron mayores los valores obtenidos en vivero en comparación con borde de vegetación para zona de arribada y de no arribada, sin diferencias significativas entre las dos últimas (Test LSD, $\alpha = 0.05$). Estos resultados están probablemente relacionados con valores de temperatura más altos y de humedad más bajos en el vivero en comparación con las otras zonas.

CONCLUSIONES

Este estudio representa el primer intento por documentar las condiciones que presenta Isla Cañas para el desarrollo de los nidos de la tortuga golfina. De manera general se encuentran resultados similares a los comunicados por otros autores para la misma especie en otras localidades. Los resultados de porcentaje de emergencia de neonatos indican valores bajos, lo cual esta relacionado con la manipulación dada a los huevos en el proceso de recolecta y posterior "siembra" en los nidos.

REFERENCIAS

Acuña M., R. A. 1983. El éxito del desarrollo de los huevos de la Tortuga marina *Lepidochelys olivacea* Eschscholtz en playa Ostional, Costa Rica. *BRENESIA* 21: 371-385.

Broderick, A.C., B.J. Godley, S. Reece & J.R. Downie. 2000. Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 202: 273-281.

Chacón, D., N. Valerin, M. V. Cajiao, H. Gamboa & G. Marin. 2001. Manual para mejores prácticas de conservación de las tortugas marinas en Centroamérica. II ed. National Fish & Wildlife foundation e International Fund for animal welfare. 139 págs.

Diccionario geográfico de Panamá. 1974. Editorial universitaria. 4 tomos.

Hinestroza, L.M. & V.P. Páez. 2000. Anidación y manejo de tortuga golfona (*Lepidochelys olivacea*) en la playa la Cueva, Bahía Solano, Chocó, Colombia. *Cuad. Herpetol.* 14 (2): 131-134.

Hughes, D.A. & J.D. Richard. 1974. The nesting of the Pacific Ridley Turtle *Lepidochelys olivacea* on Playa Nacite, Costa Rica. *Mar. Biol.* 24: 97-107.

Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestros tiempos. Fondo de cultura económica, México.

Martínez, L.M & V.P. Páez. 2000. Ecología de anidación de la tortuga golfita (*Lepidochelys olivacea*) en la playa de la Cueva, Costa Pacífica chocoana, Colombia, en 1998. *Actual Biol* 22(73): 131-143.

Miller, J.D. 2000. Determinación del tamaño de la nidada y del éxito de eclosión. Eckert *et al* (Ed). En *Técnicas de Conservación y Manejo de las tortugas marinas*. Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas. Publicación No 4: pp. 143-149.

Merchant-Larios, H. 2000. Determinación del sexo en crías. Eckert *et al*. (Ed). En *Técnicas de Conservación y Manejo de las tortugas marinas*.

Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas. Publicación No 4: pp. 150-155.

Navarro Q., J.C. 1998. Parques nacionales. Primera edición. Ediciones Balboa, Panamá. 221 págs.

Pritchard, C.H. & J. Mortimer. 2000. Taxonomía, morfología externa e identificación de las especies. Eckert *et al.* (Ed). En Técnicas de Conservación y Manejo de las tortugas marinas. Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas. Publicación No 4: 23 -41.

Richardson, J.I. 2000. Prioridades para los estudios sobre la biología de la reproducción u de la anidación. Eckert *et al.* (Ed). En Técnicas de Conservación y Manejo de las tortugas marinas. Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas. Publicación No 4: pp. 9-12.

Valadez, C. (2000). Sex ratio of marine turtle (*Lepidochelys olivacea*) hatchlings in incubation corrals at la Gloria nesting beach, Jalisco, México. Bol. Centro Invest. Biol. 34: 306-313.

Valverde, R.A. & C.E. Gates. 2000. Estudios de poblaciones en playas de arribada. Eckert *et al.* (Ed). En Técnicas de Conservación y Manejo de las tortugas marinas. Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas. Publicación No 4: pp. 64-69.

Vega, A. J. & Y. Robles. 2005. Descripción del proceso de anidación y biometría de hembras, huevos y nidos en tortuga golfiná *Lepidochelys olivaceae* (Eschscholtz 1829) en Isla Cañas, Pacífico Panameño. Tecnociencia 7 (2): 43-55.

Wibbels, T., D. Rostal & R. Byles. 1998. High pivotal temperature in the sex determination of the olive ridley sea turtle, *Lepidochelys olivaceae*, from playa Nancite, Costa Rica. Copeia 4: 1086-1088.

Zar, J. 1984. Biostatistical Analysis. Second edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 718 p.

Recibido enero de 2004, aceptado julio de 2006.



DENSIDAD MICROBIANA EN PARCELAS DE SUELOS CON DIVERSOS GRADOS DE PRODUCTIVIDAD EN EL PROYECTO DE REFORESTACIÓN CON *Pinus caribae* DE LA YEGUADA

José Him F.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
e-mail: jjhimf@latinmail.com

RESUMEN

Con el propósito de determinar las características microbiológicas de los suelos del Proyecto de Reforestación de La Yeguada se buscaron los siguientes grupos de microorganismos: bacterias aerobias, bacterias anaerobias, actinomicetes y hongos. Las parcelas muestreadas fueron previamente clasificadas según su nivel de productividad (metros cúbicos de pino formados por año, según estudio piloto previo) en productividad alta ($>15 - 20 \text{ m}^3/\text{año}$), media ($10 - 15 \text{ m}^3/\text{año}$) y baja ($5 - 10 \text{ m}^3/\text{año}$). Además, se muestreó un grupo de parcelas que nunca habían sido reforestadas con ningún tipo de árboles. En total se tomaron 15 muestras, 3 muestras de áreas de productividad alta, 4 de productividad media, 4 de productividad baja y 4 del grupo testigo. Las muestras fueron rotuladas y llevadas al laboratorio del CRUV (Universidad de Panamá) para hacer los análisis microbiológicos correspondientes. De los datos obtenidos se puede concluir que en todas las variantes estudiadas (hongos, microorganismos aerobios, actinomicetes y bacterias anaerobias) no se presentó una diferencia significativa estadística; lo cual indica que en el transcurso de los años de reforestación (25 años o más), las condiciones creadas por los pinos no favorecieron la proliferación de estos microorganismos. También se detectó una correlación entre el desarrollo de los actinomicetes y los anaerobios, la cual sugiere una posible relación entre los dos tipos de microorganismos.

PALABRAS CLAVES

Bacterias aeróbicas, bacterias anaerobias, actinomicetes, hongos, suelo, *Pinus caribae*.

ABSTRACT

With the purpose of determining the microbiological properties of the soils of La Yeguada Reforestation Project, the following microorganisms were searched: aerobic bacterias, anaerobic bacterias, actinomycetes and fungi. The plots sampled were previously classified according to their productivity level (cubic meter of pine tree made per year, according to a preliminary study) in high productivity (> 15 - 20 m³/year), medium productivity (10 - 15 m³/year) and low productivity (5 - 10 m³/year). Moreover, a group of plots that have never been reforested was sampled. On the whole 15 samples were taken, 3 high productivity areas samples, 4 of average productivity, 4 of low productivity and 4 of the control group. The samples were marked and taken to the CRUV (Universidad de Panamá) microbiology laboratory, where they were analyzed. The data showed that all groups of microorganisms (fungi, aerobic microorganisms, actinomycetes and anaerobic bacterias) did not present significant differences; it means that these microorganisms were not affected by the soil conditions created for the pine trees. Also, a correlation between the development of actinomycetes and anaerobics bacteria was detected, which suggests a possible relationships between both types of microorganisms.

KEYWORDS

Aerobic bacterias, anaerobic bacterias, actinomycetes, fungi, soil, *Pinus caribaeae*.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de La Yeguada empezó hace más de treinta años con la finalidad de servir de protección de la cuenca del Río San Juan y las orillas de la laguna artificial que sostienen la planta hidroeléctrica. Además, en lo que se refiere al ecosistema, se buscaba mejorar el clima, los suelos y el paisaje de la región; los cuales se encontraban muy deteriorados y con grandes problemas de erosión por las acciones descontroladas de los pobladores como lo son las quemadas, ganadería extensiva, entre otras (Dyson, 1981).

Luego de una investigación realizada en la década de los sesenta, sobre diferentes especies forestales que podían crecer satisfactoriamente en los suelos degradados, se determinó que la especie de *Pinus caribaeae* era la especie más exitosa en las condiciones dadas en La Yeguada y se procedió a su plantación. La plantación tiene cerca de 25 a 30 años de establecida, con una superficie de 7640 ha (Dyson, 1981).

El área se caracteriza por poseer elevaciones que van desde 500 hasta 1350 m.s.n.m. y recibe un promedio anual de 3500 mm de lluvia

(Dyson, 1981); se encuentra situada en el corregimiento de La Yeguada, distrito de Calobre, provincia de Veraguas.

En los últimos años se han hecho muchas críticas a este tipo de reforestación con especies exóticas y en forma de monocultivo. Se asegura que antes de ofrecer una solución al problema, esta forma de reforestar contribuye al empobrecimiento de los suelos. Es importante saber que el suelo no es sólo un soporte para el desarrollo de plantas sino, que constituye un ecosistema más, en donde habitan numerosos grupos de microorganismos como son: los hongos, bacterias, actinomicetes, entre otros; que, dependiendo de la cantidad en que se encuentren, representan uno de los indicadores de la calidad de los suelos, ya que, tienen gran importancia en la determinación de las propiedades de éste y en la relación con el tipo de comunidades vegetales. Se ha demostrado significativas diferencias en la composición de las comunidades bacteriales en los suelos que tienen una cubierta boscosa en comparación con los suelos cubiertos por pastos. La vegetación es un factor ambiental que determina la composición de la comunidad microbiana de los suelos, pues ésta provee las fuentes primarias para el crecimiento heterotrófico. Debido a que las diferentes especies de plantas están compuestas de diferentes compuestos de carbono, diferentes microorganismos pueden crecer en el suelo según las diferentes comunidades de plantas. Además, la comunidad vegetal puede alterar otras características físicas y químicas del suelo y favorecer el crecimiento de diferentes especies microbianas (Nüsslein & Tiedje, 1999); y a su vez, la productividad de los sistemas agrícolas es conocida por depender de los procesos funcionales de las comunidades microbiales (O'Donnell, Goodfellow & Hawksworth, 1994).

Para evaluar la calidad microbiológica de los suelos, es importante detectar a los siguientes grupos de microorganismos: bacterias aerobias, bacterias anaerobias, actinomicetes y hongos (Wiley, 1994; Cambell, 1987 y Benson, 1994). Según Burges (1958), la calidad de los suelos fértiles presentan una cantidad definida de los diferentes microorganismos; así, el recuento de bacterias aerobias está en el orden de 1.5×10^7 , las bacterias anaerobias en 1.37×10^5 , los actinomicetes en 7.0×10^5 , y los hongos en 4.0×10^5 ufc/g.

Este trabajo pretende determinar la relación entre el grado de productividad de las parcelas (previamente catalogadas) y la

concentración de microorganismos en el suelo del proyecto y, verificar si la densidad de microorganismos ha sido afectada por el desarrollo de los pinos en el proyecto hidroeléctrico de La Yeguada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo

Las parcelas muestreadas fueron previamente clasificadas según su nivel de productividad (metros cúbicos de pino formados por años) según un estudio previo (Díaz, 2002). Todas estas parcelas tenían más de veinticinco años de haber sido reforestadas, al cabo de los cuales presentaron diferentes grados de productividad. Además, se muestreó un grupo de parcelas que nunca habían sido reforestadas con ningún tipo de árboles para tomarlas como grupo testigo; ya que, se supuso que mantenían condiciones similares al momento del inicio del proyecto. En total, se tomaron cuatro grupos de estudio: parcelas de productividad alta ($>15 - 20 \text{ m}^3/\text{año}$), productividad media ($10 - 15 \text{ m}^3/\text{año}$), productividad baja ($5 - 10 \text{ m}^3/\text{año}$), y peladero o potrero (grupo testigo).

En cada tipo de parcela, se tomaron muestras siguiendo un patrón sistemático. Para esto, se tomó una submuestra central y, a partir de ésta, se tomaron otras ocho submuestras (cada una de ellas separadas 5 m) hasta formar un rectángulo alrededor de la submuestra central. Con cada muestreo se realizó este proceso, así como el registro de las coordenadas geográficas con un SPG (Sistema de Posicionamiento Global). Las 9 submuestras se mezclaron en una bolsa plástica, luego fueron rotuladas y llevadas al laboratorio de microbiología del CRUV (Universidad de Panamá) para hacer los análisis correspondientes. En total se tomaron 15 muestras, 3 muestras de áreas de productividad alta, 4 de productividad media, 4 de productividad baja y 4 del grupo testigo. El propósito original era tomar 4 muestras de cada sitio, pero una de las muestras de las áreas de productividad alta se extravió en la última gira que se realizó.

Análisis de laboratorio

En los análisis microbiológicos de suelos, se realizaron los procedimientos estándares de aislamiento y de cultivo. A cada grupo se le practicó análisis microbiológicos de hongos, recuento total de aerobios, actinomicetes y anaerobios. La metodología utilizada fue

una combinación de las descritas por: Sherman (1987), Benzinger (1994), Wollun (1982), y Parkinson (1982).

En el laboratorio, cada muestra fue homogeneizada mediante movimiento manual de la bolsa plástica en que estaba contenida. Luego se pesaron 25 g de cada bolsa que se colocaron en una bolsa plástica estéril para disolverlos con 225 mL de agua peptonada estéril. Después de homogeneizados, se hicieron diluciones decimales seriadas hasta la dilución 10^5 . Estas diluciones fueron sembradas en platos Petri con sus respectivos agares. Para recuento total de aerobios se usó agar nutritivo; para hongos, agar sauboraud; para los actinomicetes, agar almidón - caseína; y para anaerobios, agar para anaerobios fastidiosos. Todos los platos Petri fueron incubados a temperatura ambiente, a excepción de los anaerobios que fueron introducidos en una jarra Gaspack®, utilizando el sistema Anaerogen®. Transcurrido la incubación necesaria (4 a 5 días para anaerobios y actinomicetes y 72 horas para aerobios y hongos a temperatura ambiente), se hicieron los cálculos necesarios para determinar la concentración de cada uno de los grupos de microorganismos.

Todos los datos de recuentos microbiológicos fueron agrupados de acuerdo al tipo de microorganismo y al nivel de productividad de las parcelas.

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados en el software Statistix 3.5, mediante un análisis de varianza a fin de determinar similitudes entre los grupos de parcelas. También se hizo un análisis del coeficiente de correlación de Pearson para determinar posibles relaciones entre los grupos de microorganismos. A cada análisis se le aplicó un nivel de confianza de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La posición de las parcelas estudiadas se tabuló según los datos de SPG en el Cuadro 1. Algunos de las parcelas no muestran datos debido a que no se tomó la lectura correspondiente por omisión o por pérdida de los registros.

Cuadro 1. Clasificación de las parcelas según productividad, posición geográfica y altitud.

Productividad	Parcelas	Posición Geográfica	Elevación (m.s.n.m.)
ALTA	P-49	N8°27'7.8" W80°50'49.5"	723
	P-66	N8°27'51.8" W80°51'08"	686
	P-68	N8°28'04.8" W80°51'54.5"	700
MEDIA	P-38	N8°28'05.5" W80°51'49.7"	705
	P-67	N8°27'36.2" W80°51'48.5"	709
	P-127	N8°28'82.9" W80°50'45.3"	745
	P-139		
BAJA	P-3	N8°25'09.5" W80°51'20.9"	501
	P-4	N8°25'10.7" W80°81'14.7"	582
	P-130	Cerca de la Laguna	
	P-136	N8°28'17.5" W80°50'24.9"	845
TESTIGO	P-01		
	P-02		
	P-03	N8°27'57" W80°51'47.9"	657
	P-04	N8°28'13.7" W80°50'06.2"	883

Las medias aritméticas de los recuentos de hongos (Cuadro 2) de cada una de las áreas establecen que las áreas no reforestadas (testigo) y las de producción baja de pinos presentan recuentos en la cantidad

esperada (4×10^5) según Burges (1958). En cambio, los datos para las áreas de producción alta y media parecen ser más bajas de lo esperado.

Cuadro 2. Media aritmética de los recuentos de microorganismos en los distintos grupos de parcelas.

	Productividad			
	Alta	Media	Baja	Testigo
Hongos	57967	92000	134000	123000
Aerobios totales	280000	5630250	738250	381275
Actinomicetes	135000	68100	368000	11330
Bacterias Anaerobias	99233	27125	158950	3245

Nota: todos los datos están dados en unidades formadoras de colonias por gramo (ufc/g).

A pesar de estos aparentes resultados, el análisis estadístico mediante una ANOVA simple (Cuadro 3) demuestra que no hay diferencias verdaderas entre los grupos. Este resultado puede indicar que los pinos no son un factor determinante en la proliferación de hongos.

Cuadro 3. Análisis de varianza de los recuentos de hongos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	$1.1971 \cdot 10^{15}$	3	3990223111	0.49895929	0.69055119	3.5874308
Dentro de los grupos	$8.7968 \cdot 10^{20}$	11	7997091515			
Total	$9.9939 \cdot 10^{21}$	14				

Los recuentos de aerobios totales (Cuadro 2) esperados en el orden 1.5×10^7 ufc/g estuvieron muy por debajo en los distintos lugares muestreados; sólo el área de productividad media se acercó a lo esperado. El análisis estadístico de estos datos demostró que todos los grupos eran iguales (Cuadro 4). Las cantidades de organismos aerobios no fueron afectados por el crecimiento de los pinos, pero en todos los casos las concentraciones de estos organismos están por debajo de lo esperado en un suelo fértil.

Cuadro 4. Análisis de varianza de los recuentos de aerobios.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7.8128 10 ¹³	3	2.6043 10 ¹³	1.29101839	0.32601191	3.5874308
Dentro de los grupos	2.2189 10 ¹⁴	11	2.0172 10 ¹³			
Total	3.0002 10¹⁴	14				

Los recuentos de actinomicetes (Cuadro 2) también presentaron cantidades inferiores a las esperadas (7.0×10^5 ; Burges, 1958), aunque las regiones de productividad alta y baja se acercaron mucho a lo deseado. Al observar las medias aritméticas de estos resultados se observa una aparente menor cantidad de estos microorganismos en las parcelas designadas como testigo. El análisis de varianza (Cuadro 5) también estableció la similitud de los recuentos de actinomicetes en las diferentes áreas estudiadas. Este resultado indica que, en todos los sitios la cantidad de actinomicetes está por debajo de los números establecidos para suelos fértiles.

Cuadro 5. Análisis de varianza de los recuentos de actinomicetes.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.9432 10 ¹¹	3	9.8107 10 ¹⁰	1.10277345	0.38912617	3.5874308
Dentro de los grupos	9.786 10 ¹¹	11	8.8964 10 ¹⁰			
Total	1.2729 10¹²	14				

Las medias aritméticas de las bacterias anaerobias (Cuadro 2), esperadas en el orden de 1.37×10^5 , muestran que la región de productividad baja es la única que presenta la densidad deseada de estos organismos. En el caso de anaerobios tampoco se demostró diferencia estadística entre las regiones (Cuadro 6), lo que indica que esta estadística tampoco estuvo en el rango esperado para ninguna de las áreas.

Cuadro 6. Análisis de varianza de los recuentos de anaerobios.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5.9389 10 ¹⁰	3	1.9796 10 ¹⁰	1.6801559	0.22841214	3.5874308
Dentro de los grupos	1.2961 10 ¹¹	11	1.1782 10 ¹⁰			
Total	1.8899 10 ¹¹	14				

Sabiendo que la salud del suelo esta intimamente ligada a la sostenibilidad de los sistemas productivos; se puede afirmar que el buen manejo de los suelos en áreas tan degradadas como La Yeguada asegura los sistemas productivos de esta región. En los sistemas productivos agrícolas hay un interés creciente en los factores que gobiernan la salud de los suelos, la biodiversidad, la restauración, así como en las relaciones fundamentales entre estos factores (Girvan *et al.*, 2003). La salud del suelo ha sido definida como la capacidad del suelo para funcionar como un sistema viviente vital para sostener la productividad biológica, promover la calidad ambiental y mantener las plantas y animales (Doran & Zeiss, 2000). Según Nüsslein & Tiedje (1999), un cambio radical en la vegetación, como es el caso del reemplazo del bosque tropical por pastos, ciertamente constituye un mayor cambio en el ambiente del suelo, especialmente en la fuente de carbón para los microorganismos, y esto conduce a un cambio a las propiedades del suelo, como lo son la acidificación, la disminución del carbón orgánico y un incremento en densidad de la masa. La mayor capacidad de intercambio catiónico en el suelo del bosque con respecto al suelo de pastos esta dada por el alto contenido de materia orgánico del suelo (Nüsslein & Tiedje, 1999). Así pues, hay factores primarios y secundarios que pueden ser importantes determinantes de las comunidades microbianas asociadas con el cambio de la vegetación. Aunque estos autores se refieren a los cambios ocurridos en el suelo debido a la permuta del bosque por los pastos, es de esperar que, al reforestar el área, las condiciones del suelo se recuperen a la forma original, o muy parecido a ellas. Este no fue el caso de la reforestación con pinos en el área de La Yeguada en lo referente a la densidad de

microorganismos. Las condiciones se mantuvieron iguales en los lugares reforestados y en los que no lo fueron. Esto indica que, desde el punto de vista microbiológico, la reforestación con este tipo de árboles no mejora los suelos, pero tampoco los deteriora.

La diferencia obvia, en el aspecto paisajístico, entre los terrenos nunca reforestados (peladero), y las regiones reforestadas es un resultado positivo, aunque las condiciones microbiológicas del suelo se mantengan iguales. El mejor desarrollo de un organismo en relación a otros, hace que el balance de los microhábitats se altere. Afortunadamente, los datos muestran que ninguno de los microorganismos se vio favorecido por el cultivo de estos pinos durante casi 30 años.

Los bajos recuentos de los hongos hacen pensar que, las condiciones creadas por los pinos inhibe el desarrollo de estos organismos en el piso de los bosques. Esto es incongruente con los registros de pH ácidos del suelo determinados anteriormente por Díaz (2002). Se esperaría que los hongos se desarrollen mejor en este ambiente más ácido. Este resultado, tal vez, se debe a algún tipo de sustancia inhibitoria secretada en la descomposición de los restos de pinos, la cual afecta a los hongos y tal vez a otros microorganismos también.

Al encontrar similitud en los diferentes tipos de microorganismos, los datos fueron reagrupados por tipo de microorganismo, y luego fueron sometidos a la prueba de coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados mostraron una correlación considerable ($r_{28} = 0.8133$, $P < 0.01$) entre los anaerobios y los actinomicetes. Se requieren estudios adicionales para elucidar posibles relaciones entre ambos.

En general, aunque los resultados no muestran las concentraciones esperadas de microorganismos, la reforestación con *Pinus caribaea* funciona en lo que se refiere a la protección contra la erosión, lo cual era el caso de las áreas de La Yeguada, antes del proyecto de reforestación. Estos sitios con pendientes pronunciadas difícilmente acogen, de primera mano, especies arbóreas más fastidiosas en su crecimiento. El desarrollo de otras especies, diferentes al pino, tal vez no se hubiera dado en las condiciones originales. Las nuevas condiciones creadas por las plantaciones de pino, en lo que se refiere a microclimas (sombra, temperatura, otras), ayudará en el futuro a la

diversificación de especies, lo cual mejorará los suelos y la proliferación de la fauna.

CONCLUSIONES

Cada una de las variables estudiadas (hongos, aerobios, actinomicetes y anaerobios), al ser comparadas entre los diferentes sitios de productividad de pinos, resultaron estar en igual concentración. No se presentó una diferencia significativa estadística; lo cual indica que, en el transcurso de los años de reforestación (25 años o más), las condiciones creadas por los pinos no inciden sobre la proliferación de estos microorganismos. Así que, si seguimos la suposición de que las áreas no reforestadas (testigo) muestran condiciones similares al momento del inicio del proyecto, podemos decir que estos microorganismos se encuentran en las mismas concentraciones que al principio de la reforestación, y en cualquiera de los casos, esta cantidad es inferior a la cantidad esperada para suelos fértiles del trópico; condición alcanzada por el mal manejo de estos suelos en épocas pasadas. De esto se puede concluir que la reforestación con este tipo de árboles no mejora los suelos, pero tampoco los deteriora.

Debido a la correlación estadística mostrada, se sugiere realizar estudios adicionales para establecer si existen relaciones entre las comunidades de bacterias anaerobias y los actinomicetes. Tal vez, la relación se deba a un efecto indirecto pero es interesante el resultado observado aquí.

REFERENCIAS

Benzinger, B. 1994. *Prácticas de Laboratorio de Microbiología*. 3ª ed., editorial LIMUSA, México. 240 págs.

Benson, H. 1994. *Microbial Applications*. Brown Communications, Inc. Estados Unidos. 288 págs.

Burges, A. 1958. *Microorganism in the Soil*. 1ª ed. Hutchinson, Londres.

Cambell, R. 1987. *Ecología Microbiana*. 1ª ed. LIMUSA. México. Págs. 109-152.

Díaz, I. 2002. Comunicación personal. Presidente de Colegio Nacional de Ingenieros Forestales de Panamá.

Doran, J. W. & M. R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.

Dyson, W. 1981. Fertilización en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 14 págs.

Nüsslein, K. & J. M. Tiedje. 1999. Soil Bacterial Community Shift Correlated with Change from Forest to Pasture Vegetation in a Tropical Soil. *Appl. Envir. Microb.* 65(8): 3622-3626.

Girvan, M. S., J. Bullimore, J. N. Pretty, A. M Osborn, & A. S. Ball. 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Appl. Envir. Microb.* 69(3): 1800-1809.

O'Donnell, A. G., M. Goodfellow, & D. L. Hawksworth. 1994. Theoretical practical aspects of the quantification of biodiversity among microorganism. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 345: 65-73.

Parkinson, D. 1982. Filamentous Fungi. En Miller, R. *Methods of Soil Análisis. Part 2, Second Edition, ASA-SSSA. Madison, USA.*

Sherman, N. 1987. *Microbiology, manual laboratory. Second edition.* Benjamin Cunnings publishing company. New York. Págs. 301-303.

Wiley, J. 1994. *Introducción a la Microbiología de Suelos. 2ª ed., Libros y Editoriales, S.A. México. Págs. 26-81.*

Wollun, A. 1982. Cultural Methods for Soil microorganisms. Cap. 37 en Miller, R., *Methods of Soil Analisis. Part 2, Second Edition. ASA-SSSA. Madison, USA.*

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar un profundo agradecimiento a los revisores de la Revista Tecnociencia y a la Profesora Margarita Merchant por su apoyo en la traducción al inglés del resumen de este trabajo. Igualmente, a la Profesora Delia Him por la revisión del texto en español.

Recibido julio de 2004, aceptado marzo de 2007.



INVENTARIO ICTIOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO BALSAS, PARQUE NACIONAL DARIÉN, PANAMÁ

Humberto A. Garcés B. y Jorge García R.

Universidad de Panamá, Instituto de Ciencias Ambientales y Biodiversidad (ICAB).

Tel. (507) 523-2085

e-mail: hgarcés@cableonda.net

RESUMEN

Se presenta el primer inventario ictiológico realizado en la cuenca media del río Balsas dentro del Parque Nacional Darién, República de Panamá con el objetivo de determinar la composición y distribución de las poblaciones de peces de agua dulce. Para ello se hicieron colectas intensivas con la ayuda de chinchorros, redes de mano y atarraya en un total de 12 estaciones y nueve sistemas ribereños durante septiembre-octubre de 1997. Se colectaron un total de 511 individuos pertenecientes a 40 especies, 38 géneros y 17 familias de peces de agua dulce. El 79 % del total de peces colectados lo constituyeron los peces primarios (incluyendo 12 sardinas de río y siete chupapiedras) con un total de 405 individuos. Se encontraron nueve especies de peces secundarios, principalmente mojarras y parívidos, así como cuatro especies de peces periferales. Las especies más abundantes y representativas colectadas fueron *Roeboides occidentalis*, *Astyanax fasciatus*, *Aequidens coeruleopunctatus*, *Gephyrocharax atracaudatus* y *Creagutus affinis*. Se encontraron 11 especies de peces de agua dulce consideradas como endémicas en el área de estudio, las cuales incluyen a *Brycon argenteus*, *Gephyrocharax atracaudatus*, *Hemibrycon dariensis*, *Pseudocheirodon arnoldi*, *Lasiancistrus planiceps*, *Rineloricaria altipinnis*, *Sturisomatichthys citirensis*, *Amphilophus calobrensis*, *Geophagus crassilabris*, *Vieja tuxrensis* y *Rivulus chucumague*. Se adicionan 38 nuevos registros en la cuenca del río Balsas, así como de la confirmación de la presencia de *Pseudophallus starksii*.

PALABRAS CLAVES

Inventario, ictiofauna, peces de agua dulce, río Balsas, Parque Nacional Darién.

ABSTRACT

The first ichthyologic inventory was carried out at the Balsas river middle basin within Darien National Park, Republic of Panama in order to determine the freshwater fish population composition and distribution. To accomplish this, intensive collections were done with the aid of fishing, dip and cast nets at 12 stations and nine riverine systems during September-October 1997. A total of 511 freshwater fish individuals belonging to 40 species, 38 genera and 17 families were collected or observed. The 79 % of total fish captured belonged to the primary fishes (including 12 characins and seven armored catfishes) totaling 405 individuals. Nine secondary fishes were found, mainly cichlids and guppies, as well as four peripheral fishes. Most abundant and representative species collected were *Roeboides occidentalis*, *Astyanax fasciatus*, *Aequidens coeruleopunctatus*, *Gephyrocharax atracaudatus* and *Creagutus affinis*. A total of 11 freshwater fish were considered as endemic species where found at the study area, including *Brycon argenteus*, *Gephyrocharax atracaudatus*, *Hemibrycon dariensis*, *Pseudocheirodon arnoldi*, *Lastancistrus planiceps*, *Rineloricaria altiplinnis*, *Sturisonnatchichthys cuturensis*, *Amphilophus calobrensis*, *Geophagus crassilabris*, *Vieja tuyrensis* and *Rivulus chucunaque*. Thirty-eight species were recorded for the first time at the Balsas river basin, including the confirmation of the presence of *Pseudophallus starksi*.

KEYWORDS

Inventory, ichthyofauna, freshwater fishes, Balsas River, Darien National Park.

INTRODUCCIÓN

Históricamente la provincia del Darién ha sido objeto de numerosas exploraciones zoológicas realizadas desde mediados del siglo XIX hasta principios del siglo XX, en las cuales se incluyen algunas colectas de peces de agua dulce, así como la descripción de sus principales ríos (Heckadon-Moreno, 1998). Existen también numerosos estudios realizados total o parcialmente en la cuenca de los ríos Tuyra-Chucunaque que incluyen algunos inventarios de peces (Boulenger, 1899; Meek & Hildebrand, 1916; Breder, 1925 y 1927; Hildebrand, 1938). En la región del Darién se han realizado algunos estudios con relación al canal a nivel, siguiendo la ruta 17, que incluyen algunos inventarios de peces (Templeton *et al.*, 1967 y 1969; Duke & Rudolph, 1969). También contamos con los trabajos de Loftin (1965) y Dahl (1971), de Colombia, en los cuales se incluyen muchos de los peces de agua dulce que ocurren en el Darién. El área de estudio se ubica en la provincia íctica denominada ístmica (Bussing, 1998) en la cual se informan 62 peces primarios y 26 peces secundarios (Bermingham *et al.*, 2001).

En el Parque Nacional Darién y áreas vecinas se han realizado algunos estudios biológicos recientes que incluyen inventarios de la ictiofauna (Garcés & García, 2000a). Una revisión actualizada indica que para dicha área existen un gran total de 227 especies de peces de agua dulce, incluyendo 44 primarios, 16 secundarios y 167 periferales (periféricos) pertenecientes a 64 familias (Loftin, 1965; Garcés & García, 2000a; Arden & Price Consulting & University of Miami, 2003). Para el área del corredor fluvial y otras áreas vecinas del río Tuyra tenemos que las principales familias de los peces primarios están constituidas por las sardinias y sábalos (Characidae) y los chupapiedras (Loricariidae) y de los secundarios por los parivivos (Poeciliidae) y las mojarra (Cichlidae).

La cuenca del río Balsas o Tucuti, comprendida dentro del Parque Nacional Darién, se ubica en un área que históricamente carece de una apropiada caracterización cartográfica e hidrológica (e.g. IRHE, 1992; IGNTG, 1996; CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 1998) y biológica. El área de estudio forma parte de la importante cuenca del río Tuyra, que incluye al río Chucunaque, que contiene muchas especies de peces de agua dulce consideradas como endémicas nacionales o binacionales, entre Panamá y Colombia, debido a su origen suramericano (Millar, 1982). En dicha área no se ha realizado un inventario ictiológico *per se*, ya que solamente se incluyen algunas áreas vecinas visitadas dentro de algunos de los escasos estudios realizados (Templeton *et al.*, 1969; SIBUP 1978; Garcés & García, 2000a; ARDEN & PRICE CONSULTING & UNIVERSITY OF MIAMI, 2003; Garcés, 2004a y b). El propósito de este estudio fue el de realizar el primer inventario de la ictiofauna presente en la cuenca del río Balsas, dentro del Parque Nacional Darién.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo un muestreo ictiológico de las poblaciones de peces de los principales sistemas ribereños (cinco ríos, tres quebradas y una laguna) de la cuenca media del río Balsas dentro del Parque Nacional Darién del 27 de septiembre al 7 de octubre de 1997, en un total de 12 estaciones. Se hicieron colectas en todos los principales afluentes riverinos y otros cuerpos de agua dulce ubicados aguas arriba entre el río Sábalo (7° 53' 4.6" N; 77° 51' 17.0" O), limitrofe del Parque Nacional Darién y el río Coasi (7° 35' 58.4" N; 77° 47' 58.4" O). Esta investigación desarrolló el componente de investigación de ictiología

del Proyecto BioDarién y cuyos métodos y resultados en extenso se encuentran en Garcés & García (2000a).

Los peces se colectaron con diversos artes de pesca (chinchorros, redes de mano y atarraya) de forma intensiva procurando obtener la mayor representación de especies de peces presentes en cada estación. Todo el material se preservó en formalina al 10 % en el campo y posteriormente se cambió a alcohol al 75 %. El material colectado se encuentra depositado en los laboratorios del Edificio de los Gemelos de la Universidad de Panamá, así como de muestras testigos depositadas en el STRI (HG-97-6951 a 6981). Los peces se identificaron con diversas claves taxonómicas (Meek & Hildebrand, 1916; Dahl, 1971; Bussing, 1998) siguiendo la clasificación y sinonimia actualizada según FishBase (2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El total de especies de peces de agua dulce colectada u observada en la cuenca del río Balsas, Parque Nacional Darién, fue de 40, distribuida en 27 primarios, nueve secundarios y cuatro periferales (Cuadro 1). Las familias más representativas del área de estudio fueron las sardinias de río (Characidae) con 12 especies, los chupapiédras (Loricariidae) con siete especies y las mojarras (Cichlidae) con cinco especies. Las familias de los barbudos (Heptapteridae o Pimelodidae) y los parivivos (Poeciliidae) estuvieron representadas por dos especies cada una, mientras que otras 12 familias estuvieron representadas por una sola especie (seis primarios, dos secundarios y cuatro periferales).

Se encontraron un total de 511 individuos de peces de agua dulce distribuidos en los nueve sistemas ribereños muestreados (Cuadro 2). El número total de especies determinadas e individuos colectados por sistema ribereño fue variable, encontrándose de 5-26 especies por sistema ribereño y 18-137 individuos. Cabe destacar que para el área de estudio no se había realizado ningún informe acerca de la composición y distribución de los peces de agua dulce presentándose solamente algunos datos preliminares (Garcés, 1999; Garcés & García, 2000a). Recientemente, se informa la presencia de un total de 74 especies de peces de agua dulce en la cuenca del río Tuyra, incluyendo 54 peces primarios y 20 peces secundarios (Smith & Birmingham, 2005).

En el área de la cuenca del río Balsas las especies de peces que mostraron una distribución muy amplia, encontradas en más de cinco estaciones, fueron las siguientes: *Roeboides occidentalis* (N= 65) presente en ocho estaciones y *Astyanax fasciatus* (*A. panamensis*) (N= 97) y *Aequidens coeruleopunctatus* (N= 24) presentes en seis estaciones (Cuadro 2). Las especies de peces que mostraron una distribución amplia, encontradas en cuatro o cinco estaciones, fueron las siguientes: *Astyanax ruberrimus*, *Gephyrocharax atracaudatus* (= *G. atricaudata*), *Creagutus affinis*, *Geophagus crassilabris*, *Cyphocharax magdalenae*, *Vieja tuyrensis*, *Brycon striatulus*, *Caquetaia umbrifera* (= *Amphilophus umbriferum*), *Gobiomorus maculatus* y *Lasiancistrus planiceps*. Las 12 especies de peces de agua dulce encontradas con una distribución muy amplia o amplia constituyeron en conjunto el 71 % del total de la colecta con un total de 363 individuos.

De las especies previamente informadas en la cuenca del río Tuyra (Loftin, 1965), tenemos que se adicionan las localidades encontradas en este estudio a la distribución conocida de las 38 especies de peces de agua dulce colectadas. Adicionalmente, se confirma la presencia de *Pseudophallus starksi* (encontrado en los ríos Balsas, Uruganticito y Coasí) en la cuenca del río Tuyra. Cabe destacar que a pesar de que no existen especies de peces de aguas dulce en peligro de extinción (ANAM, 1999) se encontraron en el área de estudio un total de 11 especies de peces consideradas como endémicas (Dahl, 1971; Loftin, 1965; Wetherbee, 1985; Bussing, 1998). Estas especies fueron *Brycon argenteus*, *Gephyrocharax atracaudatus*, *Hemibrycon dariensis*, *Pseudocheirodon arnoldi* (= *P. affinis*), *Lasiancistrus planiceps*, *Rineloricaria altipinnis*, *Sturisomatichthys citurensis*, *Amphilophus calobrensis*, *Geophagus crassilabris*, *Vieja tuyrensis* y *Rivulus chucmaque*.

En el área de estudio se informa que a excepción de ocho especies (cuatro sardinas pequeñas, dos parivivos, el salisangre y el pez pipa), el resto de las especies de peces de agua dulce colectadas son de importancia local en la pesca artesanal. Las principales especies localmente utilizadas fueron sardinas, sabaletas, lanche, inchin, aguja, sibiloma, wuacuco, wuacuquito, cabeza de huesito, mojarras, guavina y roncador. Las especies colectadas de importancia en la industria del acuario internacional o local (TFH, 1984; Sung, 1998) son *Ctenopoma beani*, *Gasteropelecus maculatus*, *Chaetostoma fischeri*, *Dasylicaria filamentosa*, *Sturisoma panamense*, *Poecilia caucana* y *Sybranchius*

marmoratus. Resultados preliminares en cuanto a la utilización actual y potencial de los peces de aguas dulces colectados en el área de estudio y en el Darién han sido presentados con anterioridad (Garcés & García, 2000b).

Cuadro 1. Especies y nombres comunes de los peces de agua dulce colectados u observados (*) en la cuenca del río Balsas, Parque Nacional Darién, Panamá, septiembre-octubre de 1997.

Especies	Nombre común
PRIMARIOS	
Characidae	
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	Sardina, granera
<i>Astyanax ruberrimus</i> Eigenmann, 1913	Sardina, granera
<i>Brycon argenteus</i> Meek & Hildebrand, 1913	Sábalo, sábalo pipón, sabaleta
<i>Brycon striatulus</i> (Kner, 1863)	Sábalo, sabaleta
<i>Bryconamericus emperador</i> (Eigenmann & Ogle, 1907)	Sardina
<i>Characidium marshi</i> Breder, 1925	Sardina
<i>Creagrutus affinis</i> Steindachner, 1880	Sardina
<i>Gephyrocharax atracaudatus</i> (Meek & Hildebrand, 1912)	Sardina
<i>Hemibrycon dariensis</i> Meek & Hildebrand, 1916	Sardina
<i>Phenagoniates macrolepis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Sardina
<i>Pseudochetodon arnoldi</i> (Boulenger, 1909)	Sardinita
<i>Roeboides occidentalis</i> Meek & Hildebrand, 1916	Choveca, lanche, buchi
Ctenolacidae	
<i>Ctenolucius beani</i> (Fowler, 1906)	Aguja, agujeta
Curimatidae	
<i>Cyphocharax magdalenae</i> Steindachner, 1879	Sardina maná, canchiru, inchin
Erythrinidae	
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	Pejeperro, pez perro
Gasteropelecidae	
<i>Gasteropelecus maculatus</i> Steindachner, 1879	Pecho de hacha
Heptapteridae	
<i>Pimelodella chagresi</i> (Steindachner, 1876)	Barbudo, barbú
<i>Rhamdia guatemalensis</i> (Günther, 1864)*	Barbudo
Hypopomidae	
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i> Regan, 1914	Macana, macana de piedra
Lebiasinidae	
<i>Piabucina festae</i> Boulenger, 1899	Subiloma, candelera

Cont. Cuadro 1.

Especies	Nombre común
Loricaridae	
<i>Chaetostoma fischeri</i> Steindachner, 1879	Chupapiedra, wuacuco
<i>Dasylicaria filamentosa</i> (Steindachner, 1878)	Chupapiedra
<i>Lasiancistrus planiceps</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chupapiedra, wuachupe
<i>Leptoancistrus cauensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Wuacuquito, wunpequere
<i>Rineloricaria altipinnis</i> (Breder, 1925)	Chupapiedra
<i>Sturisoma panamense</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)	Chupapiedra, wuachupila
<i>Sturisomatichthys citurensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chupapiedra, come arena
SECUNDARIOS	
Cichlidae	
<i>Aequidens coeruleopunctatus</i> (Kner & Steindachner, 1863)	Chogorro, cabeza de huesito
<i>Amphilophus calobrensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Mojarra, vieja
<i>Caquetaia umbrifera</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Mojarra
<i>Geophagus crassilabris</i> Steindachner, 1876	Mojarra
<i>Vieja tyrensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Mojarra
Poeciliidae	
<i>Poecilia caucana</i> (Steindachner, 1880)	Parivivo
<i>Poecilopsis turubarensis</i> (Meek, 1912)	Parivivo
Rivulidae	
<i>Rivulus chucunaque</i> Breder, 1925	"Salisangre, saltón"
Synbranchidae	
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795	Anguila
PERIFERALES	
Eleotridae	
<i>Gobiomorus maculatus</i> (Günther, 1859)	Guavina
Gobiidae	
<i>Awaous banana</i> (Valenciennes, 1837)	Chupapiedra, lamcarena
Haemulidae	
<i>Pomadasys bayanus</i> Jordan & Evermann, 1898*	Roncador, ronco
Syngnathidae	
<i>Pseudophallus starksii</i> (Jordan & Culver, 1895)	Pez pipa, pez palo

Cuadro 2. Número total de individuos de peces de agua dulce colectados en la cuenca del río Balsas, Parque Nacional Darién, Panamá, septiembre-octubre 1997. *Observado.

Especies	Río Sábalo	Río Balsas	Laguna río Balsas	Qda. Mamati	Qda- Chamurucate	Qda. Manené	Río Uruganti	Río Uruganticto	Río Coasi	TOTALES
Primarios										
<i>Astyanax fasciatus</i>	9	13		63	6		2	4		97
<i>Astyanax ruberrimus</i>		5	10		2	4	15			36
<i>Brycon argenteus</i>		11			1		2			14
<i>Brycon striatulus</i>	2	2					2	2		8
<i>Bryconamericus emperador</i>									2	2
<i>Creagrutus affinis</i>		12			3		3	8		26
<i>Gephyrocharax atracaudatus</i>		1			17	4	3	1		26
<i>Hemibrycon dariensis</i>	2						2	4		8
<i>Phenagoniates macrolepis</i>		9				2	9			20
<i>Pseudocheirodon arnoldi</i>		1			1	4				6
<i>Roeboides occidentalis</i>	1	11	9	17	10	2	12	3		65
<i>Characidium marshi</i>									1	1
<i>Ctenolucius beani</i>		1				*		1		2
<i>Cyphocharax magdalenae</i>		4	6	2			2			14
<i>Hoplias malabaricus</i>							1			1
<i>Gasteropelecus maculatus</i>				1	3		5			9
<i>Pimelodella chagresi</i>		6								6
<i>Rhania guatemalensis</i>								*		*
<i>Brachyhyopomus occidentalis</i>		1			3			2		6
<i>Piabucina festae</i>	3								3	6
<i>Chaetostoma fischeri</i>		6					2		4	12
<i>Dasylicaria filamentosa</i>		3								3
<i>Lasiancistrus planiceps</i>		10			1	1			2	14
<i>Leptoancistrus cauensis</i>							1		1	2

Especies	Río Sábalo	Río Balsas	Laguna río Balsas	Qda. Manatí	Qda. Chamurucuate	Qda. Manené	Río Urugantí	Río Urugantícto	Río Coasi	TOTALES
<i>Rineloricaria altipinnis</i>					1					1
<i>Sturisoma panamense</i>		11							1	12
<i>Sturysomatichthys cfurensis</i>		4					2	2		8
Secundarios										
<i>Aequidens coeruleopunctatus</i>		1	5		11		3	2	2	24
<i>Amphilophus calobrensis</i>	1	1					2			4
<i>Caquetaia umbrifera</i>	1	6			2		6	7		22
<i>Geophagus crassilabris</i>		7			2	1	5	2		17
<i>Vieja tyrensis</i>		3	1	2	1		2			9
<i>Poecilia caucana</i>							2			2
<i>Poecilopsis turribarensis</i>							2			2
<i>Rivulus chucumague</i>	3									3
<i>Synbranchius marmoratus</i>								1		1
Periferales										
<i>Gobiomorus maculatus</i>		3			1	*	1			5
<i>Awaous banana</i>		4					2	6		12
<i>Pomadasys bayanus</i>								*		*
<i>Pseudophallus starksii</i>		1						1	3	5
TOTALES	22	137	31	85	65	18	88	46	19	511

CONCLUSIONES

Se obtuvieron un total de 511 individuos pertenecientes a 40 especies, 38 géneros y 17 familias de peces de aguas dulce en 12 estaciones y nueve sistemas ribereños en la cuenca del río Balsas, Parque Nacional Darién, durante septiembre-octubre de 1997. Los peces primarios constituyeron la mayoría de los individuos colectados (79 % del total de la colecta) y de especies colectadas con 27, en nueve familias, principalmente sardinas de río (Characidae) con 12 especies y chupapiedras (Loricariidae) con siete especies. Se encontraron nueve especies de peces secundarios, pertenecientes a cuatro familias, principalmente mojarras (Cichlidae) con cinco especies y parivivos (Poeciliidae) con dos especies. En adición, se encontraron cuatro especies de peces periferales, pertenecientes a cuatro familias. Las especies más abundantes y representativas colectadas fueron *Roeboides occidentalis*, *Astyanax fasciatus* y *Aequidens coeruleopunctatus*. En el área de estudio se encuentran 11 especies de peces de aguas dulce endémicas, 36 de importancia en la pesca artesanal y siete en la industria del acuario. Se adicionan 38 nuevos registros de peces de agua dulce en la cuenca del río Balsas, así como se confirma la presencia de *Pseudophallus starksi* para la cuenca del río Tuyra.

REFERENCIAS

ANAM. 1999. Lista oficial de la República de Panamá: "Lista de especies de fauna amenazada o en peligro". Resolución en trámite. Pp. 143-164. En: UICN. Listas de Fauna de Importancia para la Conservación en Centroamérica y México: Listas rojas, listas oficiales y especies en apéndices CITES. UICN, San José, Costa Rica, 224 p.

Arden & Price Consulting & University Of Miami. 2003. Consultoria para Elaborar El Plan de Manejo Costero Integral en el Golfo de San Miguel y Zonas Adyacentes. Productos e Informes. Programa de Desarrollo Sostenible del Darién MEF-AMP, Panamá. Información Digital de Informe preliminar, pág. var.

Bermingham, E., V. Aswani, A. Castillo, & R. González, 2001. Peces de agua dulce de Panamá. Pp. 32-38. En: Heckadon-Moreno, S. Panamá: Puente Biológico. Las charlas Smithsonian del mes: 1996-1999. STRI, Panamá, 233 p.

Boulenger, G.A. 1899. Viaggio del Dott. Enrico festa nel Darien e regioni vicine. Bollettino Musei di Zoologia ed Anatomia comparata, R. Università di Torino 14(346):1-4.

Breder, Jr., C.M. 1925. New loricariate, characin and poeciliid fishes from the rio Chucunaque, Panama. Amer. Mus. Novitates (180):1-9.

Breder, Jr., C.M. 1927. The fishes of the rio Chucunaque drainage, eastern Panama. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. 57(3):91-176.

Bussing, W.A. 1998. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. 2a ed. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 468 p.

Contraloría General De La República. 1998. Compendio Estadístico. Provincia de Darién. Años 1992-1996. Dirección de Estadística y Censo, Contraloría General de la República, Panamá, 83 p.

Dahl, G. 1971. Los Peces del Norte de Colombia. INDERENA, Bogotá, Colombia, 391 p.

Duke, J.A. & A.W. Rudolph, (eds.). 1969. Bioenvironmental and Radiological-safety Feasibility Studies Atlantic-Pacific Interoceanic Canal. Darien Fish Dietary. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 150 p.

FishBase. 2007. Catálogo mundial de peces. ver. 05/2007.
<http://www.fishbase.org/Search.cfm>

Garcés B., H.A. 1999. Evaluación preliminar de la ictiofauna de agua dulce, Pp. 4-6. En: ANAM-ICAB. Boletín Informativo: Expedición Científica al Parque Nacional Darién, serie 2-3. Proyecto BioDarién ICAB PNUD-GEF, 6 p.

Garcés B., H.A. 2004a. Informe Biológico, Hidrológico y Sociocultural de la Reserva Forestal Canglón y Áreas Vecinas: Ictiología. Informe Final. Planificación de la Consolidación de la Reserva Forestal Canglón y la Reserva Hidrológica Filo del Tallo. CEPSA para Proyecto Desarrollo Sostenible de Darién/MEF/ANAM, Panamá, 19 p. + Anexo.

Garcés B., H.A. 2004b. Informe Biológico, Hidrológico y Sociocultural de la Reserva Hidrológica Filo del Tallo y Áreas Vecinas: Ictiología. Informe Final. Planificación de la Consolidación de la Reserva Forestal Canglón y la Reserva Hidrológica Filo del Tallo. CEPISA para Proyecto Desarrollo Sostenible de Darién/MEF/ANAM, Panamá, 17 p. + Anexo.

Garcés B., H.A. & García R., J. 2000a. Peces de Agua Dulce del Parque Nacional Darién, Pp. 16-27 + Anexo. En: ICAB. Informe Final del Proyecto de Evaluación de la Biodiversidad en los Bosques del Parque Nacional Darién. Proyecto ICAB-BioDarién-ANAM-PNUD-GEF, 192 p. + Anexo.

Garcés B., H.A. & García R., J. 2000b. Composición y uso actual y potencial de la ictiofauna encontrada en el Parque Nacional Darién. Panamá. Resumen No. 65. Pp. 45-46. En: SMBC. IV Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. Libro de Resúmenes. Hotel Roma, Ciudad de Panamá, 97 p.

Heckadon-Moreno, S. (ed.). 1998. Naturalistas del Istmo de Panamá. Un siglo de historia natural sobre el puente biológico de las Américas. STRI-Fundación Santillana para Iberoamerica. Editorial Santillana, Panamá, 215 p.

Hildebrand, S.F. 1938. A new catalogue of the freshwater fishes of Panama. Publ. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 22(4):217-359.

IGNTG. 1996. Mapa de la República de Panamá. Hoja No. 12: Jaqué. Escala 1: 250 000 (Especial). 10a ed. MOP-Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia", Panamá.

IRHE. 1992. Boletín Hidrológico 1984-1986. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Departamento de Hidrometeorología, Sección de Hidrología, Panamá, 628 p.

Loflin, H.G. 1965. The geographic distribution of the freshwater fishes of Panama. Tesis de Doctorado, Florida State University, Tallahassee, 264 p.

Meek, S.E. & S.F. Hildebrand. 1916. The fishes of the freshwaters of Panama. Publ. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 10:217-374.

Miller, R.R. 1982. Pisces. Pp. 486-501. En: Hurlbert, S.H. & Villalobos-Figueroa, A. (eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and The West Indies. San Diego State University, San Diego. 529 p.

SIBUP. 1978. Inventario Ictiológico Preliminar de la Selva Tropical del Darién. Informe mimeografiado (inédito). Sociedad de Investigaciones Biológicas de la Universidad de Panamá, Panamá, 18 p.

Smith, S.A. & E. Bermingham. 2005. The biogeography of lower Mesoamerican freshwater fishes. *J. Biogeography* 32:1835-1854.

Sung, S. 1998. Panama jewels, Part 2. Jewels from the land of the chocos. *Tropical Fish Hobbyist* 46(6):110-120.

Templeton, W.L. & colaboradores [*sic*]. 1967. Bioenvironmental and radiological-safety feasibility studies Atlantic-Pacific interoceanic canal. Phase I – Final Report. Freshwater Ecology. Batelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 121 p.

Templeton, W.L., J.M. Dean, D.G. Watson & L.A. Rancitelli. 1969. Freshwater ecological studies in Panama and Colombia. *BioScience* 19 (7):804-808.

TFH. 1984. Exotic Tropical Fishes-Supplement Index. *Tropical Fish Hobbyist* 32(12):58-61.

Wetherbee, D.K. 1985. Zoological Exploration of Panama for Endemic Species. Shelburne, Massachusetts, 246 p.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de ANAM del Parque Nacional Darién, en especial a los guías Oliver “ML” Dogirama y Tulio Mosquera y al botero Leonardo “DinDin” Bustamante. A Rafael Rivera (UP) y Heidi Banford, Anabel Perdices y Rigoberto González (STRI) por su ayuda en las identificaciones. Al Proyecto BioDarién ICAB PNUD-GEF por su apoyo económico parcial.

Recibido diciembre de 2004, aceptado junio de 2007.



BIOLOGÍA DE *Diomus* sp (Coleoptera: Coccinellidae) EN CONDICIONES DE LABORATORIO Y OBSERVACIONES SOBRE SU MORFOLOGÍA

²Alex Aguilar, ^{1,2}Daniel Emmen y ^{1,2}Dora Quiros

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Zoología y ²Laboratorio de Estudios Biológicos Contra Plagas Agrícolas (Edificio de Laboratorio Científicos, Lab. 116, V.I.P.). Telefax: 264-8441. e-mail: aguilar24@hotmail.com, demmen@cwpanama.net, dquros@cwpanama.net

RESUMEN

Existen pocos estudios básicos sobre biología de coccinélidos depredadores de áfidos y su potencial como agentes de control biológico. El propósito de este estudio fue establecer la biología de *Diomus* sp (Coleoptera: Coccinellidae) como depredador del áfido del frijol *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio y de realizar algunas observaciones sobre su morfología. Para este propósito se realizaron observaciones diarias sobre el ciclo biológico desde el momento de la oviposición hasta la muerte del adulto en cámaras de observación. Bajo condiciones ambientales controladas, la duración promedio del estadio de huevo y de las larvas del primero, segundo, tercero y cuarto instar fue de 5.55, 2.06, 1.29, 1.41 y 4.02 días, respectivamente. La duración promedio del estadio de pupa fue de 5.70 días. Desde el estadio de huevo hasta la emergencia del adulto transcurrieron 20 días. De 42 adultos sexados, 18 fueron hembras y 24 machos. El promedio de longevidad del adulto fue de 105.07 días. En la reproducción, el promedio de preoviposición de las hembras vírgenes de *Diomus* sp fue de 4.8 días. Las hembras ovipositaron un promedio total de 352 huevos por hembra, con un rango de 155 a 784 huevos.

PALABRAS CLAVES

Diomus sp, *Aphis craccivora*, ciclo biológico, instar, longevidad, copulación, oviposición, fecundidad.

ABSTRACT

There are few basic studies on biology of coccinellids as predators of aphids and their potential as biological control agents. The purpose of this study was to establish the biology and morphology of *Diomus* sp (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. For this purpose, daily observations were made over the biological cycle from egg laying until the death of the adult in observation chambers. Under controlled environmental conditions the average time span of the egg stage and first, second, third and fourth stage of the larvae was 5.55, 2.06, 1.29, 1.41 and 4.02 days, respectively. The average time span of the pupal stage was 5.70 days. From the egg stage up to the emergence of the adult elapsed 20 days. Of 42 sexed adults, 18 were female and 24 were male. The average longevity of the adult was 105.07 days. During reproduction the average time of preoviposition of *Diomus* sp virgin female was 4.8 days. The female *Diomus* sp laid an average of 352 eggs with a range between 155 to 784 eggs.

KEYWORDS

Diomus sp, *Aphis craccivora*, life cycle, instar, longevity, copulation, oviposition, fecundity.

INTRODUCCIÓN

En Panamá, el cultivo de frijoles ocupa el tercer lugar en producción después del arroz y el maíz y se dedican 9,770 hectáreas para su cultivo. Una de las especies que se cultiva ampliamente es *Vigna unguiculata* (L.) o frijol chiricano (Sexto Censo Agropecuario, 2001). Entre las plagas que afectan su producción se encuentra *Aphis craccivora* Koch, áfido polífago de muchas leguminosas el cual es vector eficiente de más de 30 tipos diferentes de virus (Blackman & Eastop, 1984). Los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) son unos de los grupos más importantes de depredadores de insectos plagas; comúnmente depredan áfidos, escamas, ácaros, y otros insectos localizados en cultivos agrícolas (Omkar & Pervez, 2003). En América Central se han reportado varias especies de coccinélidos como depredadores de *A. craccivora* tales como *Coleomegilla maculata*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*, pero existen muy pocos estudios básicos sobre sus biología y usos potenciales como agentes de control biológico (Saunders *et al.*, 1998).

El uso de depredadores para el control de áfidos en cultivos agrícolas podría ser una alternativa para reducir los niveles de insecticidas en

los campos; esto implicaría el descubrimiento y estudio adecuado de aquellas especies de insectos depredadores que pueden ser empleadas exitosamente.

Según Gordon (1999), el género *Diomus* Muslsant, pertenece a la nueva Tribu Diomini de la Subfamilia Scymninae, el cual presenta un número aproximado de 250 especies en la región de Sudamérica.

Gordon (1999) realizó la revisión de los especímenes de *Diomus* utilizados en esta investigación y determinó que se trata de una especie nueva que debe ser descrita después de realizar la revisión del género para América Central y México.

El objetivo de este estudio fue establecer la biología y morfología de *Diomus* sp en condiciones de laboratorio ya que se trata de una especie muy eficiente en el control de *A. craccivora* tanto en el laboratorio como en el campo (Aguilar *et al.*, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Colonia de *A. craccivora* y de *Diomus* sp en condiciones naturales:

Se cultivaron 20 plantas de *V. unguiculata* en un umbráculo ubicado en la azotea del Edificio de Laboratorios Científicos, Universidad de Panamá, para establecer una colonia de *A. craccivora*, con el fin de atraer individuos de *Diomus* sp. Algunas plantas de *Vigna* se dejaron expuestas para que fueran infestadas por *A. craccivora* y colonizadas por *Diomus* sp. Adicionalmente, se llevaron a cabo colectas de individuos tanto de la plaga como del depredador en cultivos de *Vigna* y luego fueron trasladados al área experimental.

Colonia de *A. craccivora* en condiciones de laboratorio: En dos cajas colapsables de aluminio tamaño 21"x 21"x 21", se colocaron 15 potes con plantas de *V. unguiculata* en las cuales fueron colocados individuos de *A. craccivora*. Estas cajas se mantuvieron en el laboratorio a una temperatura promedio de 27.1 ± 1.59 °C (diurna) y 20.1 ± 0.88 °C (nocturna), H.R de 38.6 ± 4.92 % (diurna) y 64 ± 6.21 % (nocturna) y un fotoperiodo de 16h L: 8h O.

Colonia de *Diomus* sp en condiciones de laboratorio: Dos plantas con áfidos fueron transferidas a una caja de madera forrada con

plástico y muselina. Individuos adultos e inmaduros de *Diomus sp.* detectados en la colonia de *A. craccivora* del umbráculo, fueron colectados y transferidos a dicha caja, para establecer una colonia de *Diomus sp.* en el laboratorio. Esta colonia fue colocada en una cámara bioclimática, con temperaturas de 26 ± 1 °C durante el día y 22 ± 1 °C durante la noche, con un fotoperiodo de 14h L: 10h O.

Ciclo biológico de *Diomus sp.* Se colectaron 46 individuos adultos de la colonia de *Diomus sp.*, los cuales fueron colocados en parejas al azar dentro de 23 cámaras de observación siguiendo la metodología de Aguilar (2004). En su interior, cada cámara contaba con una base de papel filtro humedecido para mantener la humedad relativa en el medio, así como con hojas y tallos de frijoles con áfidos para que los coccinélidos se alimentaran y pudieran ovipositar en una superficie natural. Las hojas con posturas fueron separadas y colocadas en nuevas cámaras de observación, registrándose diariamente el tiempo de maduración de las mismas, hasta su posterior desarrollo. Una vez eclosionados los huevos, se seleccionaron de 30 a 45 larvas recién emergidas (repeticiones), las cuales fueron colocadas individualmente en las cámaras de observación para registrar diariamente el ciclo biológico hasta la muerte de los adultos (longevidad). Se realizaron cuatro réplicas del procedimiento anterior.

Comportamiento reproductivo de *Diomus sp.* Se colocaron 10 parejas de adultos vírgenes en cámaras de apareamiento con las mismas características de la cámara de observación. Los machos fueron separados de las hembras después de pasar 30 días en las cámaras de apareamiento y se hicieron registros del número de huevos depositados por las hembras por día, así como su comportamiento al copular y ovipositar.

Morfología de las larvas de *Diomus sp.* Se separaron larvas de los diferentes instars (del primero al cuarto) y se colocaron dentro de pequeños viales de vidrio con solución de Nesbitt's (Borror *et al.*, 1989). Las larvas del primer instar permanecieron de uno a tres días en solución, las del segundo instar, de tres a cinco días y las del tercero y cuarto instar, de cinco a siete días. Una vez que las larvas se aclararon, se lavaron varias veces con agua destilada, y fueron montadas en portaobjetos para estudiar su morfología bajo el microscopio de luz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo biológico de *Diomus* sp: Bajo las condiciones de laboratorio antes mencionadas en este estudio, la duración promedio del estadio de huevo fue de 5.55 días (n=117) (Cuadro 1). El rango de duración para el primer instar larval fue de 1-3 días, mientras que para el segundo y tercer instar larval fue de 1-2 días. El cuarto instar larval, incluyendo la inter-fase de prepupa, presentaron de 3-7 días de duración. En promedio, desde el estadio de huevo hasta la emergencia del adulto transcurrieron 20.04 días (Cuadro 1). Hall (2001) y Hentz & Nuessly (2002), encontraron que a temperaturas entre 27.5 °C - 27.7 °C, los huevos de *Diomus terminatus* maduraron en tres a cuatro días. Meyerdirk (1983), encontró que los huevos de *Diomus flavifrons*, depredador de las escamas de los cítricos, maduraron en 5.1 días a una temperatura de 24 °C. Chiri (1987), determinó que el ciclo biológico de los coccinélidos en general dura entre 20 y 35 días y en lugares cálidos puede desarrollarse hasta una generación por mes. Esto es probablemente debido a que el metabolismo de los insectos se incrementa al aumentar la temperatura y por lo tanto la duración del ciclo se reduce.

Longevidad de adultos y proporción de sexo de *Diomus* sp: La longevidad promedio de adultos fue de 105.07 días, en 55 individuos observados, con un mínimo de 50 días y un máximo de 151 días. Hentz & Nuessly (2002), observaron que varios adultos de *D. terminatus* presentaron una longevidad de 50 días en condiciones de laboratorio a una temperatura de 27.5 °C. Meyerderirk (1983), encontró que la longevidad de hembras vírgenes de *D. flavifrons* fue de 77.6 días con un rango de 70 a 81 días. De 42 adultos sexados de *Diomus* sp, 18 fueron hembras y 24 machos.

Cuadro 1. Promedio, desviación estándar y rango del tiempo de desarrollo de huevos, instar larval y pupa de *Diomus* sp bajo condiciones de laboratorio.

Estadios	Duración (días)	Rango (días)
Huevo	5.5 ± 0.74	3 a 8
L1	2.06 ± 0.31	1 a 3
L2	1.29 ± 0.43	1 a 2
L3	1.41 ± 0.49	1 a 2
L4 y pre-pupa	4.02 ± 0.49	3 a 7
Pupa	5.70 ± 0.59	4 a 7
Total	20.04 ± 1.1	17 a 24

(n=117 individuos observados desde huevos hasta adultos).

Comportamiento reproductivo

Copulación: El contacto físico preliminar entre parejas de *Dionus* sp es el rozamiento de la cauda de la hembra con las antenas del macho, que luego posiciona sus patas anteriores sobre los élitros de la hembra e inicia la copulación (Fig. 1). El proceso de copulación es frecuente en los adultos de *Dionus* sp y muchas veces se observa a la hembra alimentándose durante el acto. En la cópula, la falobase del macho permanece afuera y el sifo es introducido completamente. Según Hodek & Honek (1996), la cópula de los coccinélidos es similar a la mayoría de los coleópteros. Algunas veces, el macho se coloca sobre la hembra sin que se observe copulación; aparentemente este comportamiento es parte del cortejo.

Preoviposición: El tiempo promedio total para el proceso de preoviposición de las hembras de *Dionus* sp fue de 4.8 días (n=10), con un rango de 4 – 7 días (Cuadro 2). Hentz & Nuessly (2002), reportaron para *D. terminatus*, un periodo de preoviposición de 7 – 8 días a una temperatura de 27.5 °C. Según Naranjo *et al.* (1990), el promedio de preoviposición en las hembras de *Scymnus frontalis* a una temperatura de 15 °C fue de 20.5 días, mientras que a una temperatura de 30 °C fue de 7.7 días.



Fig. 1. Proceso de copulación de *Dionus* sp.

Cuadro 2. Preoviposición, oviposición y fecundidad de las hembras de *Diomus* sp.

Idlas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TMO
Dijaiti (D)	4	4	6	7	5	2	4	5	5	6	43
Quita (Q)	6	3	4	5	6	2	4	4	3	5	42
Intepaiti (I)	3	4	3	3	4	3	5	2	2	5	32
Intepaiti (I)	12	11	8	6	7	6	4	6	7	8	82

Oviposición: Las hembras de *Diomus* sp generalmente colocaron sus huevos en forma individual u ovipositaron en cortas hileras consecutivas de tres a cuatro huevos aproximadamente. La oviposición se llevó a cabo en el envés de las hojas del frijol, cerca de la nervadura central y algunas nervaduras secundarias próximas a los vasos que transportan nutrientes. Sin embargo, algunas hembras colocaron sus huevos en la superficie superior de las hojas, tallos, cámaras de observación y en el papel filtro. Los huevos se pegaron firmemente al envés de las hojas. Hentz & Nuessly (2002) y Hall (2001), describieron el mismo comportamiento para *D. terminatus*. De acuerdo con Sweetman (1958), Cheah & McClure (1998) y Lu *et al.* (2002), los miembros de la subfamilia Scymnini ovipositan de forma similar.



Fig. 2. Huevos de *Diomus* sp cerca de la nervadura central del envés de una hoja de *V. unguiculata*.

Fecundidad: Las 10 hembras de *Diomus* sp ovipositaron un promedio total de 352 huevos viables por hembra, con un rango de 85 a 784 huevos/hembra en un promedio total de 42 días (Cuadro 2). El promedio total de oviposición diaria fue de 8.20 huevos por hembra con un rango de 4.7 a 11.2. Según Meyerdirk (1983), las hembras de *D. flavifrons* que copularon, presentaron un promedio de 146.9 huevos/hembra, con un rango de 94 a 265 huevos/hembra y un máximo de 17 huevos colocados por una hembra en un periodo de 24 horas. El promedio de oviposición diario fue de 5.1 huevos por hembra. La tasa de oviposición por hembra de *Scymnus frontalis*, depredador de *Diuraphis noxia*, a una temperatura de 26.2°C, presentó un promedio de 7.25 huevos por hembra/día (Naranjo *et al.* 1990). Otro factor que puede influir en la tasa de oviposición, es la frecuencia de apareamientos (Quiñones *et al.* 2001). Esto es refutado por Lu & Montgomery (2001), quienes observaron que la presencia del macho durante la reproducción no afecta la fecundidad a pesar de que copulen frecuentemente.

Morfología de los estadios inmaduros de *Diomus* sp.

Huevo: Ovalado, convexo dorsalmente, 0.63 mm de largo y 0.29 mm de ancho (n=25). Huevos recién ovipositados con coloración amarilla transparente, tornándose más opacos y con el extremo anterior más blanco y ligeramente más ancho que el extremo posterior, a medida que maduran (Fig. 3A–E). En el sexto día el huevo adquiere una coloración oscura (Fig. 3F) y horas más tarde es posible observar los segmentos de la larva. (Fig. 3G).

Descripción general de las larvas: Cuerpo alargado y fusiforme, con cuatro instares larvales que varían de marrón claro a oscuro, con algunas setas desarrolladas en las regiones laterales de la cabeza, mesonotum, metanotum y región caudal del pigidio. Cuerpo mayormente cubierto por microespinas y setas espatuladas en la región dorsal del tórax y márgenes laterales de cada segmento torácico y abdominal. Cabeza y piezas bucales marrón oscuro y ocelos (estematas) negros. Tibio-tarsi marrón oscuro, tubérculos desarrollados en la región dorsal del tórax. Cabeza más ancha que larga en todos los instares con seis pares de setas en los márgenes laterales y tres pares de setas espatuladas. Las antenas son de dos segmentos, con cuatro setas apicales, palpos maxilares de dos segmentos, mandíbulas con un diente puntiagudo en el ápice.

Torax: Pronotum con setas espatuladas ampliamente dispersas, margen derecho con cuatro setas puntiagudas, margen izquierdo con tres setas puntiagudas, con una línea sagital más clara que se extiende del pronotum al mesonotum. **Mesonotum** más ancho que el pronotum, con una seta puntiaguda y cuatro setas espatuladas en cada margen lateral; margen dorsal con setas espatuladas dispersas sobre el área dorsal. **Metanotum** tan ancho como el mesonotum, con una seta puntiaguda y dos setas espatuladas en el margen lateral y algunas setas dispersas en el área dorsal. Patas estrechas apicalmente, con setas dispersas sobre la mayor parte de la superficie y en el ápice y con una uña fuertemente esclerotizada (Fig. 4).

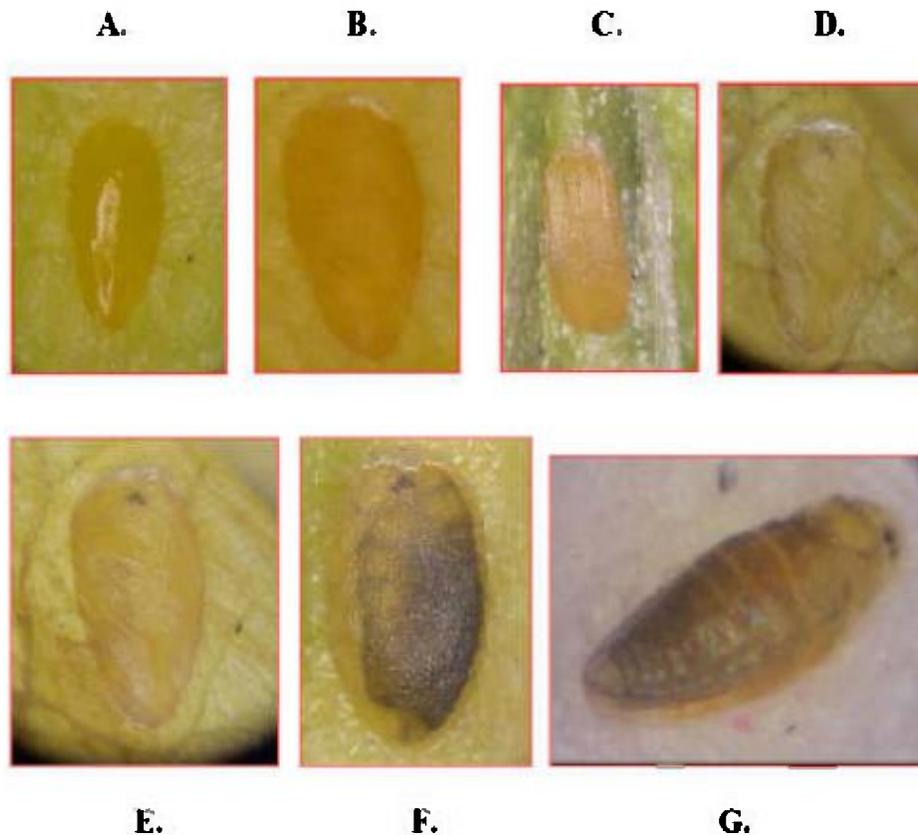


Fig. 3. Desarrollo progresivo de los huevos de *Diomus* sp . A. Primer día, B. Segundo día, C. Tercer día, D. Cuarto día, E. Quinto día, F. Sexto día, G. Sexto día, horas después.



Fig. 4. Micropreparado de la larva del cuarto instar de *Diomus* sp.

Del primero al cuarto instar los rangos de longitud y anchura de la cápsula cefálica fueron de 0.12 - 0.33 y 0.16 - 0.47 mm, respectivamente, mientras que la longitud y ancho del cuerpo presentaron rangos de 0.89 - 3.20 y 0.33 - 1.56 mm, respectivamente (Cuadro 3). Según Hentz & Nuessly (2002), la anchura de la cápsula cefálica es utilizada para determinar los cambios en los instares larvales (Dyar, 1890), ya que otros cambios que ocurren durante el desarrollo son menos relevantes.

Cuadro 3. Promedio, desviación estándar y rango (mm) de dimensiones, de cada instar larval de *Diomus* sp.

Etapa	N	Antroclisis (Rango)	Lagoblastia (Rango)	Lagoblastia (Rango)	Antroclisis (Rango)
1	25	0.18±0.01 (0.16-0.21)	0.14±0.00 (0.12-0.15)	1.09±0.11 (0.89-1.24)	0.41±0.07 (0.33-0.50)
2	25	0.24±0.02 (0.22-0.28)	0.19±0.01 (0.17-0.22)	1.70±0.13 (1.53-1.97)	0.64±0.03 (0.55-0.77)
3	25	0.32±0.02 (0.28-0.34)	0.24±0.02 (0.21-0.28)	2.43±0.19 (2.01-2.67)	1.05±0.12 (0.81-1.27)
4	25	0.42±0.03 (0.37-0.47)	0.31±0.02 (0.28-0.33)	3.20±0.25 (2.59-3.63)	1.40±0.13 (1.21-1.59)

Prepupa: Cuando la larva del cuarto instar entra en la inter-fase prepupal secreta una sustancia oscura y pegajosa por el segmento 9, lo que le permite adherirse a las hojas y a otras superficies. Posteriormente, la larva se encoge y se hace más gruesa (Fig. 5). Características similares fueron observadas por Hentz & Nuessly (2002) y Hodek & Honek (1996).

Pupa: Oval, con extremos redondeados, cara dorsal convexa y la ventral plana. Inicialmente presenta una coloración amarillo-naranja, luego cambia a marrón oscuro. El promedio de longitud y de ancho de la pupa ($n=11$) es de 1.75 y 1.23 mm, respectivamente. Superficie del cuerpo cubierto con setas pequeñas brillantes que portan una pequeña gota de secreción en el ápice, la cual es utilizada aparentemente para disuadir a sus depredadores (Lu *et al.* 2002; Hentz & Nuessly, 2002). En vista dorsal, la cabeza queda oculta y al igual que el mesonotum y metanotum es de coloración marrón pálido. Pronotum y segmentos abdominales con márgenes más pálidos, región mesal de los segmentos abdominales elevada, formando una quilla, espiráculos levantados (Fig. 5).

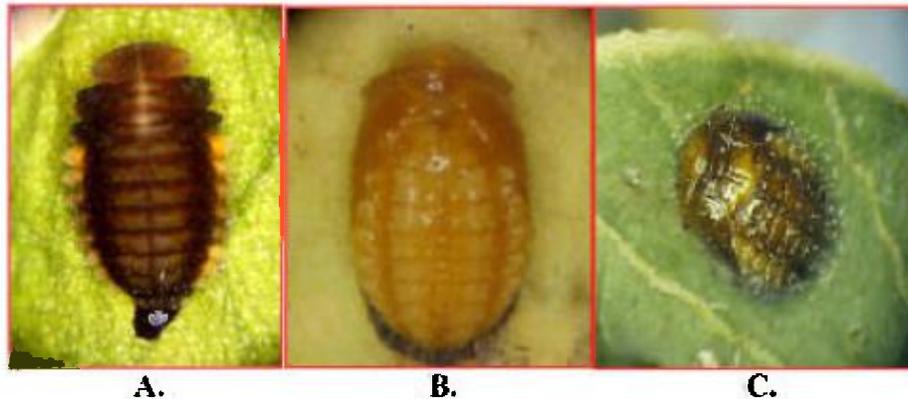
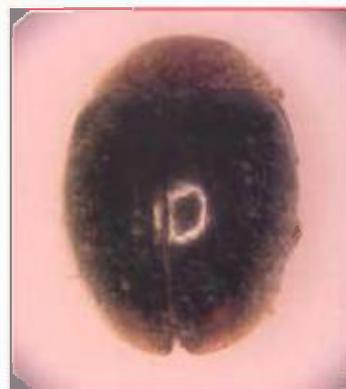


Fig. 5. Vista dorsal de *Diomus* sp. A. Prepupa. B. Pupa inicial. C. Pupa avanzada.

Adultos: Individuos tenereos poseen cuerpo uniformemente marrón, cabeza y pronotum posteriormente tornándose naranja y élitros negros con manchas naranja en la región apical (Fig.6). El macho presenta dimensiones de 1.60 mm de largo, y 1.22 mm de ancho ($n=25$), mientras que la hembra presenta 1.81 mm de largo y 1.32 mm de ancho ($n=14$). La hembra es similar al macho excepto por la cauda que es más larga y puntiaguda (Fig.7).



A.



B.

Fig. 6. **A.** Adulto tenereo de *Diomus* sp. **B.** Adulto de *Diomus* sp con 24 horas.



A.



B.

Fig. 7. Vista ventral de adultos de *Diomus* sp. **A.** Macho. **B.** Hembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, A. 2004. Biología, morfología y respuesta funcional de *Diomus* sp. (Coleoptera: Coccinellidae) como depredador de *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Panamá. 90 pp.

Aguilar, A., D. A. Emmen & D. I. Quirós. 2005. Respuesta funcional de *Diomus* sp (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Aphis craccivora* (Homoptera: Aphididae). *Tecnociencia* 7 (2): 109-122.

Blackman, R. L. & V. F. Eastop. 1984. Aphids on the world's crops. An identification guide. John Wiley y Sons, Ltd, 466 pp.

Borror, D. J., C. A. Triplehorn & N. F. Johnson. 1989. An introduction to the study of insects. Sexta Edición, Saunders College Publishing, Philadelphia. 875pp.

Dyar, H.G. 1890. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche*, 5: 420-422.

Cheah, C. S-J. & M. S. McClure. 1998. Life history and development of *Pseudoscymnus tsugae* (Coleoptera: Coccinellidae), a new predator of the Hemlock Woolly Adelgid (Homoptera: Adelgidae). *Environ. Entomol.* 27 (6): 1531-1536.

Chiri, A. A. 1987. Enemigos naturales de los áfidos. En: Pinochet, J. y Quintero, D. Curso de áfidos. Artículos selectos sobre áfidos y su importancia económica en la agricultura de Centro América. CATIE. Informe técnico N° 125: 36-42 pp.

Gordon, R. D. 1999. South American Coccinellidae (Coleoptera), Part VI: A systematic revision of the South American Diomini, New Tribe (Scymninae). *Annales Zoologici (Warszawa)*. 49 (Supplement 1): 1-249.

Hall, D. G. 2001. Notes on the yellow sugarcane aphid *Sipha flava* (Homoptera: Aphididae) and the lady beetle *Diomus terminatus* (Coleoptera: Coccinellidae) in Florida. *J. Am. Soc. Sugar Cane Tech.* 21: 21-29.

Hentz, M. G. & G. S. Nuessly. 2002. Morphology and Biology of *Diomus terminatus* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Sipha flava* (Homoptera: Aphididae). *Florida Entomologist* 85 (1): 276-278.

Hodek, I. & A. Honek. 1996. Ecology of coccinellidae. Kluwer Academic Publisher, Dodrecht. 464pp.

Lu, W. & M. E. Montgomery. 2001. Oviposition, development, and feeding of *Scymnus (Neopullus) sinuomodulus* (Coleoptera: Coccinellidae): a predator of *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 94 (1): 64-70.

Meryerdirk, D. E. 1983. Biology of *Diomus flavifrons* (Blackburn) (Coleoptera: Coccinellidae, a citrus mealybug predator. *Environ. Entomol.* 12: 1275-1277.

Naranjo, S.E., R. L. Gibson & D. D. Walgenbach. 1990. Development, survival and reproduction of *Scymnus frontalis* (Coleoptera: Coccinellidae), an imported predator of russian wheat aphid, at four fluctuating temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83: 527-531.

Omkar, & A. Pervez. 2003. Influence of prey deprivation on biological attributes of pale morphs of the lady beetle *Propylea dissecta* (Mulsant). *Insect Sci. Applic.* 23 (2): 143-148.

Quiñones, P. F. J., S. N. Chavéz & R. S. H. Tarango. 2001. Efecto del tiempo de disponibilidad del macho en la fecundidad de *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Folia Entomol. Mex.* 40 (1): 47-52.

Saunders, J. L., D.T. Coto & A.B.S. King. 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 305 pp.

Sexto Censo Nacional Agropecuario. 2001. Contraloría General de la República de Panamá, Estadística panameña. Censos Nacionales del 2000, Resultados básicos. Volumen 1, Tomo 1.

Swetman, H.L. 1958. The principles of biological control. W.C. Brown, Iowa. 246-251 pp.

Recibido mayo de 2006, aceptado julio de 2007.



ESTANDARIZACIÓN DE LOS VALORES NORMALES DEL REFLEJO H EN EL MÚSCULO TRICEPS SURAL

Lilbeth Castillero¹, Oris Lam²

Universidad de Panamá, Facultad de Medicina, Departamento de Fisiología, Laboratorio de Neurofisiología.

e-mail: ¹prof_castillero@yahoo.com, ²oriscalvo@yahoo.com.

RESUMEN

El reflejo H es una respuesta tardía, utilizada en electromiografía, que brinda información sobre el estado de las fibras nerviosas en sus niveles más proximales. En el presente trabajo se registró el reflejo H en sujetos normales, se estudiaron sus características, se analizó su significado fisiológico y se relacionó la latencia y la amplitud del reflejo con características de los sujetos como sexo, talla, peso y edad. El estudio se realiza por medio de la selección de una muestra de 100 sujetos normales de 20 a 24 años y 20 sujetos normales de 30 a 69 años. A los sujetos se les midió la talla y el peso; y se registró el reflejo H bilateralmente. Luego se procedió a estudiar la relación que pudiera establecerse entre las variables encontradas en la determinación del reflejo H y los parámetros de los sujetos. Se aplicó la prueba Z para comparar los resultados en los diferentes grupos. Se analizó la diferencia estadística considerando un 95% de confiabilidad. Se utilizó el programa Epi Info y Excel para calcular los coeficientes de correlación entre las variables determinadas. Se encontró una fuerte relación entre la latencia del reflejo H con la talla ($r = 0.81$) y la edad ($r = 0.58$) de los sujetos. Además se encontró una relación inversa entre la edad de los sujetos y la magnitud de la onda H. No se encontró diferencia significativa entre sexos, ni en la latencia bilateral en un mismo sujeto. Las diferencias en las latencias encontradas por la talla se explican por la longitud del arco reflejo y las encontradas por la edad se deben a la pérdida neuronal por el proceso de envejecimiento. Se calculó el coeficiente de regresión lineal para establecer una fórmula matemática que permita predecir la latencia del reflejo H si se tiene la talla y la edad del sujeto. Con este estudio se logró estandarizar las respuestas del reflejo H en la población panameña, lo que será de gran utilidad en el diagnóstico, pronóstico y en la toma de decisiones terapéuticas tempranas que disminuirá, sin duda, las enormes pérdidas económicas que por incapacidad laboral producen las radiculopatías.

PALABRAS CLAVES

Reflejo H, velocidad de conducción nerviosa, respuestas tardías.

ABSTRACT

The H reflex is a delayed response, used in electromyography, which gives us information about the state of nerve fibers in their most proximal levels. In this project, the H reflex was recorded from normal subjects, their traits were studied, their physiological meaning was analyzed: latency along with the amplitude of the reflex was linked to some of the subject's characteristics such as sex, height, weight and age. This study started by selecting a sample of 100 normal subjects between the ages of 20 and 24 and 20 subjects between the ages of 30 and 69. The height and weight was measured, and H reflex of each subject was recorded bilaterally. Next, we studied the relationship that could be established between variables found in what determines the H reflex and the subject's parameters. Z Test was carried out in order to compare the results from different groups. The statistical difference was analyzed considering 95 % reliability. The programs Epi Info and Excel were used to calculate the correlation coefficients between the determined variables. A strong correlation was found between the latency of the H reflex with each subject's height ($r = 0.81$) and age ($r = 0.58$). Also, an inverse correlation was found between each subject's age and the magnitude of the H wave. No significant difference was found among the sex of the subjects, not even in the latency bilateral in the same subject. The difference between latencies based in the height is explained by the longitude of the reflex arch and differences found by age are due to neuronal loss. The coefficient of lineal regression was found to establish a formula which helps predict the latency of H reflex if the height and age of the subject are known. With this project, the H reflex results of the Panamanian population were standardized; which will be of great use in the diagnosis, prognosis and in early therapeutic decision making which will, without a doubt, decrease the enormous economic losses that labor incapacity produces because of radiculopathies.

KEYWORDS

H reflex, nerve conduction velocity, late responses.

INTRODUCCIÓN

El Reflejo de Hoffmann, mejor conocido como el reflejo H, es la expresión electrofisiológica del reflejo de estiramiento o miotático, un reflejo monosináptico, en el cual la vía aferente corresponde a las fibras propioceptivas Ia y la vía eferente a las motoneuronas alfa de la médula espinal.

Hay dos músculos del cuerpo en donde la respuesta de dicho reflejo es consistente: el músculo gastrocnemio sóleo o triceps sural y el flexor

radial del carpo. La utilidad práctica, de dicho reflejo en estos músculos, es asistir en el diagnóstico temprano de compromisos neurofisiológicos en las raíces nerviosas S1 y C6/C7 respectivamente (Dumitru & Amato, 2001). Este reflejo suele alterarse en los estadios más tempranos de las lesiones nerviosas (Aminoff *et al.*, 1985; Velásquez & Medina, 1998; Barón & Flores, 2001; Gordón & Wilbourn, 2001).

Después que varios científicos estudiaron el reflejo H, por muchos años, Braddom y Johnson se percataron de la ausencia de un método apropiado para evocar este reflejo y de los valores normales esperados. En abril de 1974, realizaron un estudio de estandarización y su uso diagnóstico en radiculopatías S1 (Braddom & Jonson, 1974a). Además describieron cambios en la latencia y presencia del reflejo H en el 100% de los pacientes con radiculopatía S1, y observaron que estos cambios iban generalmente paralelos a los cambios en el reflejo aquiliano. En otro estudio, en septiembre del mismo año, Braddom & Johnson encontraron que el reflejo H se afecta días antes de que se afecte el electromiograma en radiculopatía S1 aguda, y de que se afecte la velocidad de conducción de nervios periféricos en el Síndrome de Guillain Barré (Braddom & Jonson, 1974b). En la literatura mundial, no existen estudios suficientes sobre los resultados de la amplitud del reflejo H en sujetos sanos, por lo que se han sugerido investigaciones adicionales.

Los valores normales del reflejo H que utilizamos actualmente en Panamá se obtuvieron de este primer estudio de estandarización, en otras latitudes, y no siempre se corresponden con la clínica. Así ha ocurrido en otros países como en Cuba, donde, en 1992, se realizó un estudio normativo en 39 sujetos en el Hospital Ortopédico Nacional Docente Frank Pías, pues presentaban setenta y ocho pacientes con diagnóstico clínico de Síndrome Compresivo Radicular Lumbosacro, que no se correspondían con el estudio electrodiagnóstico (Martínez & Bruget, 1992). En Panamá también se hace necesario una estandarización del reflejo H.

Entre 70 y 85% de la población adulta sufre de dolor de espalda una vez en su vida. (Fontova, 2001). La lumbalgia es uno de los motivos de consulta más frecuentes en los centros de atención básica y especializada (Ortiz, 2003). La prevalencia anual se encuentra entre 15 y 45%, y es mayor en mujeres de más de 60 años. Los pacientes

con radiculopatía S1 se quejan de dificultad para caminar, presentan además alteración del reflejo aquiliano y trastornos sensoriales o dolor en el talón de Aquiles (Dilligham *et al.*, 2001). Estos pacientes ameritan un tratamiento que incluye un equipo multidisciplinario de neurólogos, neurofisiólogos, fisioterapeutas y neurocirujanos. El costo de la atención a dicho paciente y la posible incapacidad laboral que le ocasiona esta enfermedad trae un impacto económico en la sociedad. La invalidez para el trabajo por causas no laborales está en el orden del 23.9 por mil cotizantes activos, el 40.4% es atribuido a las enfermedades osteomusculares (Panamá, Ministerio de Salud y Caja de Seguro Social, 2000). En Panamá se otorgaron 294 pensiones por lumbalgia en el año 2002, y en las provincias centrales la lumbalgia fue la mayor causa de pensión por invalidez registrada (Panamá, Caja de Seguro Social, 2002).

El presente trabajo tiene como objetivo estandarizar los valores normales de la latencia y amplitud del reflejo H en el músculo tríceps sural de sujetos normales, según talla, peso, sexo y edad.

Los beneficiados directos de esta investigación serán los pacientes para quienes mejorará su calidad de vida y productividad. También será beneficiado el personal multidisciplinario de salud que contará con un recurso diagnóstico temprano, utilizable en el pronóstico y tratamiento de las radiculopatías (Bromeen *et al.*, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio descriptivo correlacional, en el cual se registró el reflejo H en una muestra no probabilística conveniente de 100 sujetos normales, que corresponden a estudiantes de la carrera de medicina, cuyas edades oscilan entre los 20 y 24 años, de los cuales 54 % corresponde al sexo masculino. Además se incluyeron en este estudio 20 sujetos normales, docentes y administrativos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Panamá, de 30 a 69 años de edad. Los criterios de exclusión fueron: aquellos sujetos con antecedentes de enfermedades tanto del sistema nervioso como enfermedades metabólicas, infecciosas, traumáticas que alteren la velocidad de conducción nerviosa (Dyck & Novell, 1999). Además se excluyeron los sujetos con dolor de espalda o en el talón de Aquiles y con alteraciones de la marcha. A los sujetos se les realizó la evaluación

clínica refleja, sensorial y motora, de la raíz S1 (reflejo aquiliano), para evaluar la integridad del arco reflejo, antes de ser sometidos a las pruebas. Se pesaron en kilogramos y se les midió la talla en centímetros utilizando una pesa con tallímetro incorporado de la marca Detecto Medic (Detecto Scales Inc, USA). Se tomaron en cuenta las consideraciones éticas para la experimentación con humanos plasmadas en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (Nativi, 2000).

El equipo especializado que se utilizó, para registrar el reflejo H, es esencialmente un aparato computarizado con el programa Centor-M (Racia Alviar, España), el cual posee canales de amplificación, registro por monitor y papel, y un estimulador incorporado. En el monitor, el eje horizontal mide el tiempo en segundos, y el eje vertical mide la amplitud en voltios.

Se siguieron los lineamientos generales para la realización de estudios de conducción nerviosa plasmados en Oh (1993:39). Además de estas consideraciones generales, se siguieron las específicas para el reflejo H:

1. El sujeto se acostó decúbito prono, con el pie suspendido en el borde de la camilla, con una almohada colocada debajo del tobillo.
2. Los electrodos de registro se colocaron sobre el músculo gastrocnemio, como se muestra en la Fig. 1. El electrodo de estimulación (cátodo) se debe colocar sobre el nervio tibial posterior, a nivel de la fosa poplítea, hacia la médula, alejándose de los electrodos de registro.
3. Los parámetros de estimulación que se utilizaron fueron: intensidad desde 1 mA en adelante, frecuencia de 0.5 Hz y duración de 1 ms.
4. La sensibilidad utilizada en la pantalla del equipo estuvo en un rango de 200 μ V hasta 2 mV por división. La velocidad de barrido utilizada fue de 10 ms por división.

5. En los casos necesarios, el registro del reflejo H fue facilitado por la contracción de los flexores plantares o por la maniobra de Jendrassik.

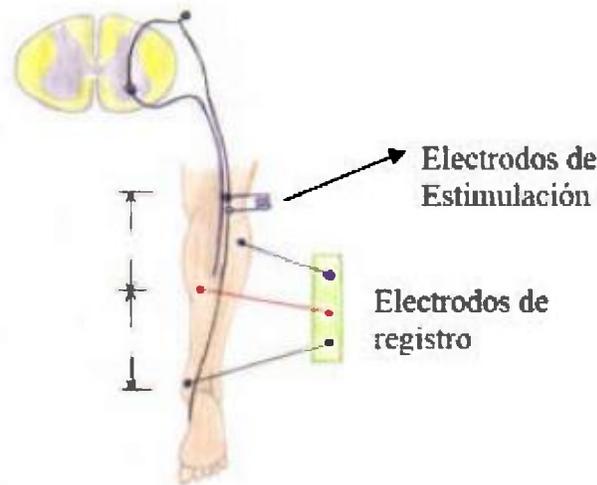


Fig. 1. Posición de los electrodos en el estudio del reflejo H en el músculo tríceps sural.

Una vez colocados los electrodos y ajustados los parámetros de estimulación, se procedió a aumentar gradualmente la intensidad desde 1 mA hasta observar el reflejo H. La identificación de la onda H en el registro no es siempre fácil, pero una manera sencilla que utilizamos para identificarla fue:

1. La onda H en el músculo tríceps sural es clásicamente trifásica con una deflexión positiva inicial y una gran deflexión negativa.
2. Los dos componentes del electromiograma se denominan ondas M y H. El reflejo H es evocado por un estímulo subumbral, para la onda M, y la amplitud de la onda H cambia en relación con la onda M con el cambio de la intensidad del estímulo. Esto es debido a que el umbral de las fibras Ia es menor que el de las motoneuronas. A medida que se aumenta la intensidad del estímulo, las motoneuronas que inervan el músculo se excitan y aparece la onda M. La onda H tiene una latencia más larga, dado que ésta resulta del viaje de los potenciales de acción a

la médula espinal, atraviesa una sinapsis, y regresa al músculo. La onda M en contraste, resulta de la estimulación directa de las motoneuronas que inervan el músculo. Con un aumento gradual de la intensidad, la respuesta M aumenta su amplitud, mientras que la amplitud de la onda H disminuye. Fig. 2. Con estimulación supramáxima, el reflejo H no se obtiene, dado que los potenciales de acción en los axones motores que se propagan hacia el cuerpo celular (conducción antidrómica) cancelan los potenciales de acción evocados reflejamente en el mismo axón motor (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Se midió la latencia, en milisegundos, y la amplitud, en milivoltios, de las ondas H. La latencia se midió horizontalmente desde que apareció el artefacto del estímulo hasta el inicio de la onda H, y la amplitud se midió verticalmente desde la máxima deflexión positiva a la máxima negativa.

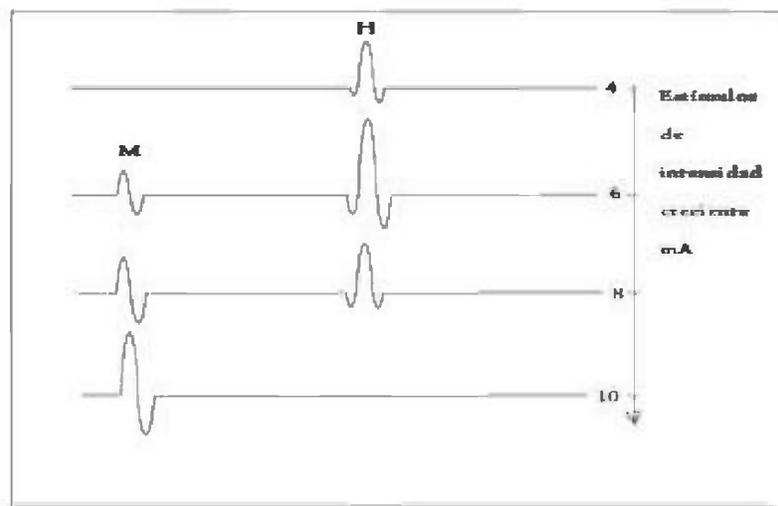


Fig. 2. Registro de las ondas M y H con la aplicación de estímulos de intensidad creciente.

Se estudió la relación que pudiera establecerse entre las variables encontradas en la determinación del reflejo H y los parámetros de los sujetos. Se aplicó la prueba Z para comparar las medias en los diferentes grupos. Se analizó la diferencia estadística considerando un 95% de confiabilidad. Se utilizó el programa Epi Info y Excel para calcular los coeficientes de correlación entre las variables determinadas. Se calculó el coeficiente de regresión lineal para

establecer una fórmula matemática que permita predecir la latencia del reflejo H.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el 100% de los sujetos estudiados, se obtuvo el reflejo H bilateralmente. En la muestra de 20 a 24 años, los valores de la latencia del reflejo H fueron de 22.9 ms a 31.3 ms, y se requirió estímulos de 4 mA hasta 34 mA para evocar la máxima onda H, las cuales lograron tener una amplitud desde 0.03 mV hasta 12.6 mV (Cuadro 1).

Cuadro 1. Media, mínimo, máximo y desviación estándar de las variables registradas en los 100 sujetos normales de 20 a 24 años.

Variable	Media	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación estándar
Talla (cm)	167.82	146	189	9.38
Peso (kg)	66.71	44.54	107.73	6.71
Latencia der (ms)	27.45	22.90	31.30	1.86
Latencia izq (ms)	27.47	23.5	31	1.81
Latencia der e izq (ms)	27.46	22.90	31.3	1.83
Amplitud der (mV)	4.74	0.03	12.60	2.83
Amplitud izq (mV)	4.71	0.03	12	2.99
Intensidad der (mA)	16.42	4.60	34	6.88
Intensidad izq (mA)	16.41	4	34	6.84

Al comparar el promedio de las latencias izquierda y derecha, mediante la prueba Z, encontramos que la diferencia observada no es significativa ($p \leq 0.01$). La máxima diferencia encontrada en un sujeto de 20 a 24 años fue de 1.5 ms y en promedio fue de 0.34 ms.

Cuadro 2. Matriz de correlación entre las variables registradas en los 100 sujetos normales de 20 a 24 años.

	Talla	Peso	Latencia	Amplitud	Intensidad
Talla	1	0.63	0.81	0	0.1
Peso	0.63	1	0.5	0.1	0.17
Latencia	0.81	0.5	1	0.17	0.1
Amplitud	0	0.1	0.17	1	0.1
Intensidad	0.1	0.17	0.1	0.1	1

Al analizar todas las variables, mediante una matriz de correlación múltiple (Cuadro 2), se halló una elevada correlación ($r = 0.81$) entre los valores de las variables latencia de la onda H y talla del sujeto. Esta correlación es mayor a la encontrada por Braddom & Johnson en 1974 ($r = 0.561$) y por Martínez & Burguet en 1992 ($r = 0.70$) entre la longitud de la pierna y la latencia del reflejo. Estos resultados demuestran que la talla es mejor predictor que la longitud de la pierna para calcular la latencia del reflejo H, debido a que es una variable que incluye todo el arco reflejo en estudio, no así, la longitud de la pierna. La latencia de un reflejo es dependiente de la longitud del arco reflejo por donde se conducen y transmiten los potenciales de acción: mientras más alto es el sujeto, mayor será la longitud de la vía nerviosa por donde viaja la información. Una relación lineal entre la talla y la latencia del reflejo H se aprecia en la Fig. 3. Las otras variables demostraron una menor correlación, por lo que no se utilizaron para hallar la fórmula que permita predecir la latencia del reflejo H en un sujeto normal.

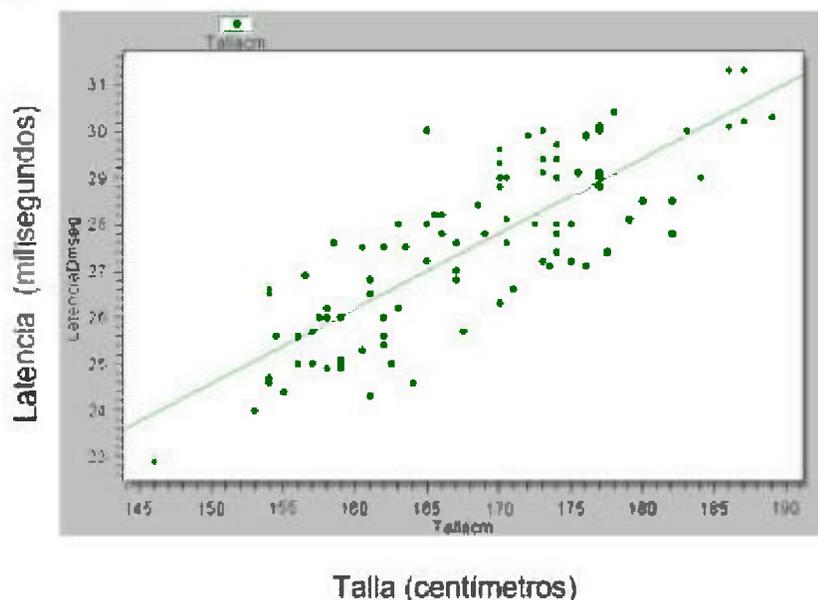


Fig. 3. Correlación de la latencia del reflejo H y la talla de los 100 sujetos normales de 20 a 24 años.

En el Cuadro 3 se puede observar que la latencia del reflejo H fue de 28.28 ms en los sujetos del sexo masculino y de 26.50 ms en los del sexo femenino, pero a la vez observamos que la talla de los primeros

también fue mayor. Al analizar las diferencias en las tallas y en las latencias en estos dos grupos, resultaron significativas ($p \leq 0.01$). Como ya se logró demostrar la fuerte relación positiva entre la talla y la latencia del reflejo H y además si comparamos la latencia según sexo en sujetos de talla semejante, éstas son iguales, por lo tanto, las diferencias según sexo resultan no significativas para sujetos de la misma talla. Por lo que podemos deducir que las diferencias en las latencias encontradas entre sexos se explican por las diferencias en las tallas.

Cuadro 3. Media y desviación estándar de las variables registradas en los 100 sujetos normales de 20 a 24 años según sexo.

Variable	Femenino		Masculino	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Talla (cm)*	160.42	5.44	174.19	7.31
Peso (kg)*	58	9.98	74.13	14.17
Latencia (ms)*	26.50	1.71	28.28	1.52
Amplitud (mV)**	4.27	2.58	5.11	3.12
Intensidad (mA)**	17.59	6.57	15.41	6.94

Valor de $p \leq 0.01$: * diferencia significativa, **diferencia no significativa.

Los trabajos al respecto muestran resultados contradictorios (Takano *et al.*, 1991, Robinson *et al.*, 1993). Todo esto nos lleva a deducir, que las diferencias en las latencias entre sexos se explican por las diferencias en las tallas.

En cuanto a la diferencia de amplitud de la onda H y la intensidad de estimulación para registrar la máxima onda en hombres y mujeres encontramos que las diferencias encontradas no son significativas ($p < 0.01$) (Cuadro 3).

Se registró en reflejo H en 20 sujetos de 30 a 69 años de edad, para incorporar la edad a la fórmula que prediga la latencia del reflejo H. Estudios previos han demostrado el efecto de la edad disminuyendo la velocidad de conducción nerviosa y la amplitud de las ondas en diversos nervios. (Rivner *et al.*, 2001, Horowitz & Krarups, 2002, Tong *et al.*, 2004). Werner Trojabong (1992) encontró una disminución de 0.9 m/s por cada 10 años de incremento en la edad del

sujeto. En el presente estudio, la edad se correlacionó directamente ($r = 58$) con la latencia del reflejo H e inversamente con la amplitud de la máxima onda H. Se encontró que por cada década de vida, la latencia de este reflejo, se incrementa en 1 ms a partir de los 20 años (lo que concuerda exactamente con los estudios de Braddom y Johnson de 1974) y se requirieron estímulos significativamente mayores para este grupo ($p < 0.01$). Estos hallazgos pueden explicarse, debido a la pérdida neuronal normal que se da con la edad (Wineinger *et al.*, 1995), con lo que se pierden neuronas sensoriales y motoras que constituyen las vías aferentes y eferentes respectivamente, de este arco reflejo. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Media de las variables registradas en los 20 sujetos normales de 30-69 años.

Variable	Media
Talla (cm)	163.62
Peso (kg)	64.75
Latencia (ms)	29
Amplitud (mV)	2.64
Intensidad (mA)	24.92

Considerando los resultados, se decidió utilizar las variables talla y edad, para establecer la fórmula que nos permita calcular la latencia del reflejo H esperada. Como se encontró una relación lineal (Fig. 3), se calculó el coeficiente de regresión (b) que corresponde a la pendiente de la línea 0.158.

Al sustituir los resultados en la ecuación de regresión lineal, obtuvimos:

$$y = (\bar{y} - bx) + bX$$

$$y = 27.461 - 0.158(167.82) + 0.158 X$$

$$y = 0.94 + 0.158 X$$

y = latencia del sujeto
 \bar{y} (media de latencia)= 27.461
b = 0.158
x (media de talla)= 167.82
X = talla del sujeto

A este valor predictivo se le puede añadir o sustraer el valor de dos desviaciones estándares (2SD) equivalente a 3.66 ms, lo cual nos permite obtener un margen de valores predictivos normales, con una validez del 95%. Lo que también está justificado en un estudio de

Robinson en 2001, sobre el efecto de los métodos estadísticos al establecer límites normales de la conducción nerviosa, en donde encontró que dentro de dos desviaciones estándar se obtenían la menor cantidad de falsos positivos y negativos al momento de clasificar a los sujetos. Al incorporar en la fórmula la variable edad y las 2SD, la fórmula definitiva es:

$$y = (\text{edad}-10) 0.1 + 0.158 X \pm 3.66$$

CONCLUSIONES

Al determinar el reflejo H, la onda H fue visible en el 100% de los sujetos estudiados.

Las correlaciones encontradas entre la latencia del reflejo H y los parámetros de los sujetos en estudio fueron 0.81 con respecto a la talla, 0.58 con la edad, 0.5 con el peso y no se encontró ninguna relación con el sexo de los sujetos.

No se encontró correlación entre la amplitud de la onda H con la talla, peso y sexo de los sujetos en estudio.

En el grupo de 30 a 69 años la latencia del reflejo H resultó mayor, la amplitud de la onda H menor y la intensidad del estímulo requerido para evocar la máxima onda H mayor que para el grupo de 20 a 24 años.

Se propone la fórmula: $y = (\text{edad}-10) 0.1 + 0.158 X \pm 3.66$, para predecir el valor de la latencia del reflejo H en un sujeto normal.

RECOMENDACIONES

Aplicar la fórmula propuesta en este estudio en aquellos casos en los que el criterio clínico no se ajuste a los resultados esperados convencionales.

REFERENCIAS

Aminoff, M., S. Goodin & G. Parry. 1985. Electrophysiologic evaluation of lumbosacral radiculopathies: electromyography, late

responses and somatosensory evoked potentials. *Neurology* 35: 1514-1518.

Barrón, E. & A. Flores. 2001. Reflejo H y potenciales evocados dermatomales en radiculopatía S1. V Reunión Delegacional de Investigación Médica Monterrey, México, febrero, p. 2-4.

Braddom, R. & E. Johnson. 1974a. H Reflex: Review and classification with suggested clinical uses. *Arch Phys Med Rehabil* 55: 412-417.

Braddom, R. & E. Johnson. 1974b. Standardization of H reflex and diagnostic use in S1 radiculopathy. *Arch Phys Med Rehabil* 5: 161-166.

Dillingham, T., L. Pezzin & D. Lauder. 2000. Symptom duration and spontaneous activity in lumbosacral radiculopathy. *Am J Phys Med Rehabil* 79: 124-132.

Dumitru, D., A. Amato & M. Zwarts. 2001. *Electrodiagnostic Medicine*. 2ª ed. Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia 1524 p.

Dyck, J. & J. Norell. 1999. Microvasculitis and ischemia in diabetic lumbosacral radiculoplexus neuropathy. *Neurology* 53: 2113.

Fontova, R. 2001. Lumbalgia de causa inflamatoria y metabólica. Actualización y tratamiento. *Rev Soc Esp Dolor* 8: 70-78.

Gordon, P. & A. Wilbourn. 2001. Early Electrodiagnostic Findings in Guillain Barré Syndrome. *Arch Neurol* 58: 913-917.

Guía de instalación y utilización de Centor-M. 2000. Racia Alviar. España. p.1-15.

Gutiérrez, E., M. Jiménez, P. Fernández & M. Acebal. 2002. V Curso de Electromiografía Básica para Neurólogos. Manual de Ponencias. Acreditado por Sociedad Española de Neurología y Sistema Nacional de Salud. España. p. 19-22.

Horowitz, S. & C. Krarup. 2002. Conduction studies of the normal sural nerve. *Muscle & Nerve* 15:374- 383.

Johnson, E. 1997. *Practical Electromyography*. 3 ed. Williams & Williams. USA. p. 119-120.

Kimura, J. 1989. *Electrodiagnosis in diseases of the nerve and muscle. Principles and practice*. FA Davis, Philadelphia, 1024 p.

Martinez, R. & M. Burguet. 1992. Estudio Normativo del Reflejo H: Valor diagnóstico en el Síndrome Compresivo Radicular de S1. *Rev. Cubana Ortop Traumatol* 6: 31-36.

Nativi, J. 2000. *Introducción a la Investigación Científica*. Sibauste. Panamá. p. 205-209.

Oh Shin. 1993. *Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies*. 2 ed. Williams & Williams, Lippincot. 816 p.

Ortiz, F. 2003. Examen Clínico y Anormalidades Electromiográficas en los Pacientes con Dolor Lumbar. *Revneuro.com* 37: 106-110.

Panamá. Boletín del Ministerio de salud. 1999. Disponible en: <http://www.minsa.gob.pa/home.htm>.

Panamá. Boletín del Ministerio de salud. 2001. Disponible en: <http://www.minsa.gob.pa/home.htm>.

Panamá. Ministerio de Salud y Caja de Seguro Social. 2000. *Situación Actual de Salud. Análisis prospectivo de la red de servicios del Ministerio de Salud*. Patrocinado por OPS/OMS.

Panamá, Caja de Seguro Social, 2002. *Registros Médicos*.

Rivner, M., T. Swift & K. Malik. 2001. Influence of age and height on nerve conduction. *Muscle & Nerve* 24: 1134- 1141.

Robinson, L., D. Rubner, P. Wahl, W. Fujimoto & W. Stolov. 1993. Influences of height and gender on normal nerve conduction studies. *Arch Phys Med Rehabil*. 74: 1134-1138.

Robinson, L., N. Temkin, W. Fujimoto & W. Stolov. 2001. Effect of statistical methodology on normal limits in nerve conduction studies. *Muscle & Nerve* 17: 1134-1141.

Roujeau, T., J. Lefaucher, V. Slavov, R. Gherardi & P. Decq. 2003. Long term course of the H reflex after selective tibial neurotomy. *J Neurology Neurosurg and Psychiatr* 74: 913-917.

Takano, K., F. Kirchner, F. Steinicke, A. Langer, H. Yasui & J. Natio. 1991. Relation between height and the maximum conduction velocity of the ulnar motor nerve in human subjects. *Japaneese Journal Physiology* 41: 385-396.

Tong, H., R. Werner & A. Franzblan. 2004. Effect of aging on sensory nerve conduction study parameters. *Muscle & Nerve* 29: 716-720.

Trojabong, W., A. Moon, B. Andersen & N. Trojabong. 1992. Sural nerve conduction parameters in normal subjects related to age, gender, temperature, and height: A reappraisal. *Muscle & Nerve* 15: 666-671.

Velásquez, L. & E. Medina. 1998. Evaluación neurofisiológica en la enfermedad discal lumbar Hospital Docente Provincial "Vladimir I. Lenin". Cuba. CP 80100. p.10-15.

Velásquez, L., G. Sánchez & R. Pérez. 2002. Diagnóstico Neurofisiológico del Síndrome Compresivo Radicular Lumbosacro a través de las Respuestas Tardías. *Revneuro.com* 34: 819-821.

Bromeen, P., M. Krom, J. Wilmink, A. Kester & J. Knotterus. 2002. Diagnostic value of history and physical examination in patients suspected of lumbosacral nerve root compression. *J Neurology Neurosurg and Psychiatr* 72: 630-634.

Weinstein, D. 2001. Low Back Pain. *N Engl J Med* 344: 363-370.

Wineinger, M., R. Sharian, T. Stevenson, R. Carlsen & R. McDonald. 1995. Peripheral nerve and muscle function in the aging Fischer 344/brown-Norway rat. *Growth Dev Aging* 59(3): 107-119.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Panamá por toda la colaboración brindada. A SENACYT por el financiamiento de este estudio.

Recibido enero de 2007, aceptado julio de 2007.



EVALUATING THE PERFORMANCE OF DIFFERENT GEOPHYSICAL METHODS FOR GROUNDWATER PROSPECTING IN ESPIRITO SANTO BASIN - SOUTHEAST BRAZIL

Carrasquilla, Abel.*; Gonçalves, Carlos A. & Ulugergerli, Emlin.*****

*Petroleum Engineering and Exploration Laboratory of the North Fluminense State university in Macaé-RJ, Brazil. Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LENEP/UENF), Macaé-RJ, Brazil.

Email:abel@lenep.uenf.br

**Schlumberger Servicos de Petroleo Ltda. Av. Presidente Wilson 231 - 20 andar Rio de Janeiro, Brazil.

***Geophysical Department, Ankara Universitesi, Muh. Fak. Besevler, Ankara, 06100, Turkey.

RESUMEN

Cuatro técnicas geofísicas fueron utilizadas en diferentes locales de la Cuenca de Espírito Santo en el Sudeste de Brasil, en terrenos del tipo sedimentar, en el distrito de Veracruz, y del tipo ígneo, en los distritos de Rio Bananal y Ibraçu. El objetivo principal del estudio fue evaluar el desempeño de los diferentes métodos geofísicos en la prospección de agua subterránea, dentro de tales tipos de geología. Los trabajos de campo fueron ejecutados a través de sondeos, usando el método electromagnético en el dominio del tiempo (TDEM), mientras que perfiles horizontales en la superficie del terreno fueron obtenidos por medio de los métodos de electro-resistividad (resistividad DC - DCRE) y electromagnético en el dominio de la frecuencia (FDEM). Por otro lado, el método geofísico de pozo (WL - *well logging*) fue usado con los perfiles verticales de temperatura, rayos gammas naturales, potencial espontáneo y resistividad (normal y lateral). De esta forma, la utilización de esos métodos geofísicos permitió separar las formaciones geológicas arcillosas de las arenosas, como también detectar la existencia de fallas y fracturas en la roca cristalina. Esos resultados son muy importantes, puesto que ayudan a localizar esas estructuras geológicas, y, como consecuencia, a definir la geometría de los acuíferos dentro de las diferentes áreas ígneas o sedimentares de esa cuenca. Finalmente, el reconocimiento de esos ambientes es importante para encontrar los locales más adecuados para la perforación de pozos y colocar correctamente los

tubos de acero de revestimiento, permitiendo, en esta forma, obtener buena cantidad de recursos de agua potable para el consumo humano.

PALABRAS CLAVES

Técnicas geofísicas, Cuenca de Espirito Santo, Sudeste de Brasil, acuíferos, agua subterránea potable.

ABSTRACT

Four geophysical techniques were used in different parts of Espirito Santo Basin (Southeast Brazil), in both sedimentary (Aracruz District) and crystalline (Rio Bananal and Ibraçú Districts) kind of terrains. The main goal of the survey was to evaluate the performance of these geophysical methods for groundwater prospecting in such kinds of geology. Fieldworks were performed through several soundings, using time domain electromagnetic (TDEM), while surface profiles were obtained using Direct Current Resistivity (DCRE) and frequency domain electromagnetic (FDEM). On the other hand, geophysical well logging method (WL) was used through temperature, natural gamma ray, spontaneous potential and normal/lateral resistivity logs. Thus, with the utilized geophysical methods we were able to separate shaly and sandy geological formations, as well as, the presence of faults or fractures in the crystalline rocks, which are important geological structures in the definition of aquifers within different igneous or sedimentary areas of this basin. The recognition of these environments permitted us to locate the best places to drill wells and to put correctly the casings, obtaining, in this form, freshwater resources for human consumption.

KEYWORDS

Geophysical techniques, Espirito Santo Basin, Southeast Brazil, aquifers, freshwater.

INTRODUCTION

Groundwater is a vital natural resource and it is important for geoscientists to be able to monitor its quality and quantity in subsurface reservoirs, which are known as aquifers. In this sense, electromagnetic (EM) geophysical methods are well established in groundwater resource evaluations to map subtle changes in electrical resistivity (or conductivity) below the surface of the earth. There are many proven and potential applications of resistivity studies to a variety of geological targets at shallow to intermediate depths; one of the most important is the groundwater exploration. The resistivity readings are used to locate geological formations, e.g. aquifers, which have a resistivity contrast with the rocks around them. Thus, resistivity measurements can be made at the surface of the earth or in boreholes to investigate subsurface conditions in an area, because its the wide range variation in rocks (over seven orders

of magnitude) has long made it an attractive physical parameter for subsurface exploration and description. Thus, resistivity surveys are often used to search for groundwater in both porous and fissured media. In porous media, generally related with sedimentary rocks as clean sands and gravels, which have high porosities and make good aquifers, when saturated with fresh water they can easily be differentiated from lower resistivity impermeable clays and marls (which are poor aquifers), and also from bedrock, which is usually of much higher resistivity. On the other hand, the presence of fissures (faults, alterations or fractures) is the most important thing of crystalline rocks (igneous and metamorphic). In this case, the alteration and fissuration are most favorable to accumulation of groundwater, causing the resistivity of rocks measured at the surface to decrease, which permit location of these zones, associated with low resistivity values. Thus, EM and well logging geophysical methods are commonly driven through the ground and boreholes to detect inhomogeneities underground, such as electrically better or poorer conducting layers or structures, which are inferred from the fact that they deflect or canalize the current around or inside these geological structures. (Sharma, 1997).

Regarding our study, we used four geophysical techniques in different parts of Espirito Santo Basin, in both sedimentary and crystalline kind of terrains (Fig. 1). Sedimentary geology was found in Aracruz District, while crystalline rocks were found in Rio Bananal and Ibiracu Districts. Thus, the main goal of the survey was to evaluate the performance of these geophysical methods for groundwater prospecting in such kinds of geology, mainly its capability to distinguish the resistivity and geometry (depth and thickness) of the different layers in sedimentary terrains and the lateral variations of resistivity in crystalline terrains, permitting the best locations to drill wells. During the fieldworks, we used time domain electromagnetic (TDEM), direct current resistivity (DCRE), frequency domain electromagnetic (FDEM) and well logging (WL). TDEM was used in the form of soundings to obtain the vertical variation of the resistivity, meanwhile DCRE and HD/VD were utilized in the form of profiles to obtain the horizontal variation of the resistivity. On the other hand, WL was used through natural gamma ray, normal/lateral resistivity, spontaneous potential and temperature logs, aiming to measured different properties along the wells. All these methods will be rapidly described in the next section.



Fig. 1. Survey area.

GEOPHYSICAL METHODS

In TDEM systems, one strong direct current is passed through a non-grounded loop with a series of current pulses separated by periods of current-off. During the period of current-on a static magnetic field is established in the earth. When the current in the transmitting coil (and thus the primary magnetic field) is rapidly switched off (at time $t = 0$), the *emf* (electromagnetic force) induced in the ground causes eddy currents to flow both in the ground and in nearby buried conductors, when the receiving loop measures the secondary fields produced by geological heterogeneities in subsurface in the absence of inductive primary field and in the form of a decline voltage. This is a consequence of resistive heat loss these currents decay with time, causing a decaying magnetic field at the surface. Within highly conductive bodies the decay of eddy currents (and thus of the secondary magnetic fields) is significantly slower than

that in poor conductors. Measurement of the rate of decay of the secondary field thus provides a means of detecting subsurface conductive bodies and estimating their resistivity (Fig. 2).

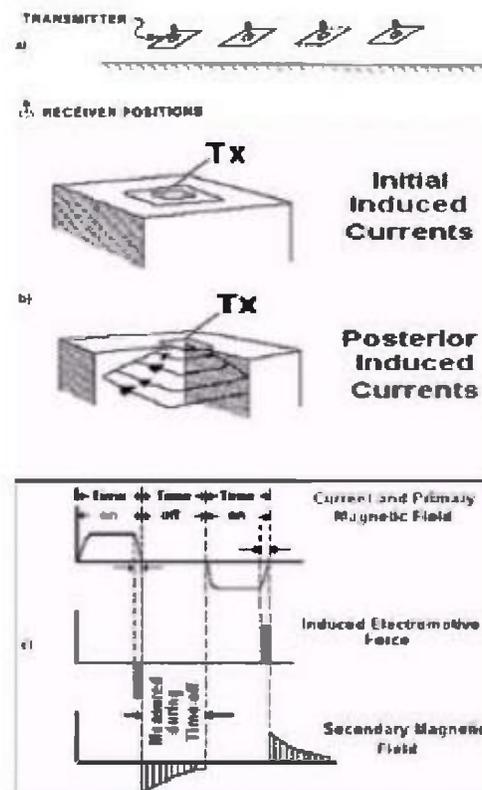


Fig. 2. TDEM a) layout; b) current systems; and, c) signals.

Nowadays, this technique has largely used to delineate stratified structures of geological interest in groundwater prospecting (Nabighian, 1987). In the survey, the used equipment measures the decay rate of the induction vertical magnetic component in $\mu\text{V}/\text{A}\cdot\text{m}^2$, and, after that, the measured values are transformed in apparent resistivity (ρ_a in Ωm), as is shown by the following equation:

$$\rho_a = \left[\frac{\mu}{4\pi t} \left[\frac{b^2 A^2 I}{5tV} \right]^{2/3} \right], \quad (1)$$

where μ is the magnetic permeability ($1,2566 \times 10^{-6} \text{ m kg C}^{-2}$), b is the square transmitter loop side (in m), A is the effective area of the receiver loop (area x number of coils), I is the electrical current in the transmitter loop (Amp), V is the transient voltage (Volt) and t , the time since the beginning of the transient (in sec).

DCRE method is a relatively cheap compared to other methods, because it energizes the geological media with a simple equipment consisting of a high tension battery pack as the source of current, four metal stakes, an ammeter, a voltmeter, and four reels of insulated cable, injecting current between electrodes C_1 and C_2 and measuring the potential difference between P_1 and P_2 electrodes (Fig. 3.), through different geometries spread in the surface, among them the Schlumberger array is more used.

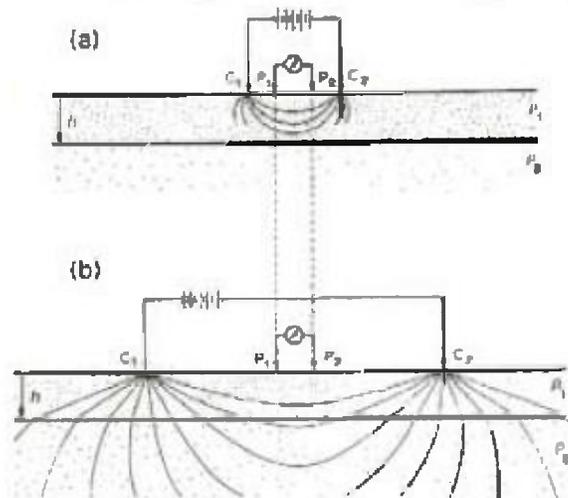


Fig. 3. DCRE layouts, a) shallow and b) deeper.

Generally, results are shown in the form of resistivity soundings or geo-electrical sections, while apparent resistivity values (ρ_a) are shown in function of C_1 and C_2 current electrodes separation ($C_1C_2/2$ or $C_1C_2/3$), which indicates, approximately, the target depth. The ρ_a values depend on the following equation (Versteeg, 1998):

$$\rho_a = \left(\frac{2\pi}{G} \right) \left(\frac{\Delta V}{I} \right), \text{ with } G = \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_1} + \frac{1}{C_2 P_2} \right), \quad (2)$$

where G is the geometrical factor, V is the potential difference (Volts) and I is the injected current (Amp).

This method is largely utilized in different type of studies, especially in groundwater prospecting, mainly because it is usefulness to map thickness of weathering and stratigraphy, as well as the existence of faults and fractures (Ward, 1990).

In FDEM technique, we used ground resistivity meters, commonly called horizontal or vertical transmitter loops, where an alternate current is flowing with frequencies between 100 to 5000 Hz, produces a primary magnetic field (H_p) that induces a secondary magnetic field (H_s) in the conductor bodies located in the subsurface (Fig. 4.). The sum of these two kinds of field results in a total magnetic field (H_T), which is measured through a horizontal or vertical coil located in surface, allowing thus, the location of conductor targets in subsurface. EM response at low induction numbers with either horizontal or vertical transmitter/receiver dipole orientation is based on the assumption that all current flow is horizontal and all current loops are independent of all other current loops. This allows the construction of a function, which gives the relative response to H_s at the receiver from a thin layer of a ground at any depth. On the other hand, the coils must always be coplanar, but may be used in a vertical position or lying horizontally on the ground. The vertical coil configuration (horizontal dipoles – HD, also known as vertical loop electromagnetic - VLEM) is the most sensitive to near surface materials and the response decreases with depth. The horizontal coil configuration (vertical dipoles – VD, also known as horizontal loop electromagnetic - HLEM) is most responsive to materials located at shallow depths. Thus, the depth of exploration is mainly a function of coil separation and orientation. FDEM equipments are designed to directly measure linear conductivity under certain constraints, defined as *operation under low induction numbers* by simply measuring the ratio between H_s and H_p . Given H_s/H_p , the apparent conductivity σ_a (mS/m) indicated by the instrument is defined as:

$$\sigma_a = \frac{1}{\rho_a} = \left[\frac{4}{(\omega \mu_0 s^2)} \right] \left[\frac{H_s}{H_p} \right], \quad (3)$$

where ω is the angular frequency ($\omega = 2\pi f$), μ_0 is the permeability of free space ($1.2566 \times 10^{-6} \text{ m kg C}^{-2}$) and s is the inter-coil spacing (in m), with the results generally showed in the form of profiles inductive electromagnetic survey methods are, nowadays, widely used to map near-surface geology by mapping variations in the electrical conductivity of the ground. Such variations generally are caused by changes in soil structure (porosity), clay content, resistivity of the soil water, and degree of water-saturation in the soil (GEONICS, 1990).

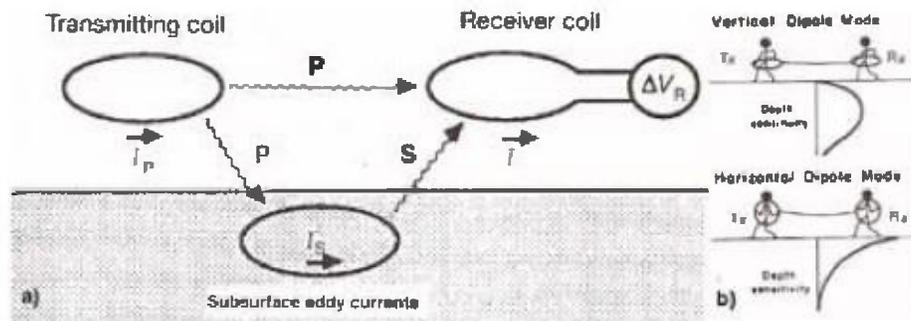


Fig. 4. FDEM survey layout. a) current system; and, b) arrays.

With WL method, a vertical profile is obtained crossing within a borehole, measuring with a sensor one or more physical properties of surrounding rocks (Fig. 5). Thus, through this technique, electric (natural electrochemical potential, resistivity and induced polarization), acoustic (speed of propagation or transit time of the sonic waves), radioactive (natural or induced radioactivity) or thermal petrophysical properties are measured. These properties are registered in function of depth, which are obtained through constant and uniform upward shift of sophisticated sensors inside a well, which is known as a well logging profile. However, any type of profile used in the evaluation of the well, generally does not supply direct these properties that can be used in the evaluation of the characteristics of geological formations. As a matter of fact, such properties are inferred from parameters registered in the form of physical fields. It is convenient to remember that, sometimes, this kind of profiles is the only ways to get *in situ* properties of rocks. Thus, down hole geophysical measurements greatly increase the ability of the interpreter to provide more direct information about formation thickness and lithology, dip of strata, porosity, formation fluid content, permeability and temperature, and also, they provide a

means of correlating geological formations from one borehole to another. In this way, conventional logging techniques, such as those used in exploratory for oil/gas can be applied in groundwater studies, but special interpretation procedures must be applied in those areas where the logging zone of interest is above the water table, or where the rock has an extremely low permeability (Ellis, 1987).

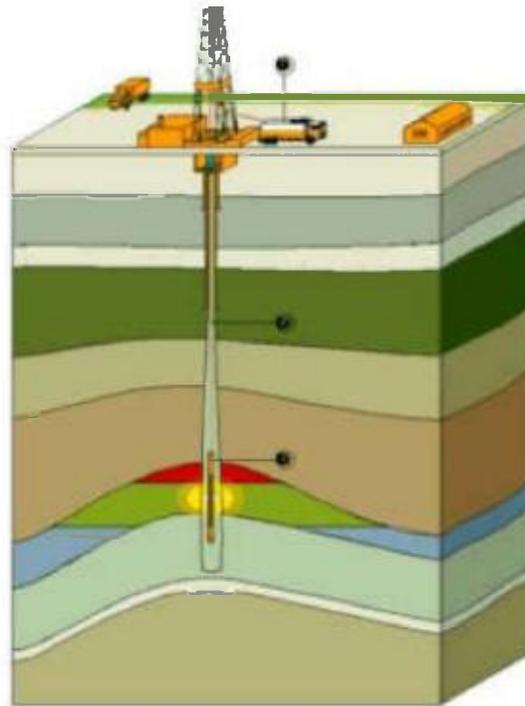


Fig. 5. WL survey layout.

GEOLOGICAL CONTEXT

Espirito Santo State is located in Southeast Brazil (Fig. 1), bordered by the states of Rio de Janeiro (S), Bahia (N), and Minas Gerais (W) and by the Atlantic Ocean (E). The basin, with the same name, has a total of 218.000 km² with 18.000 km² in continental area. The northern border of this basin is marked by the Alcobaça High in Cumuruxatiba Basin and, its southern border is the Vitoria High in Campos Basin (Vieira et al., 1994). Its continental area is a narrow belt with 20 km wide, located between the crystalline basement and the sea (Fig. 1). The Quaternary geological

formation of this basin, called Urucutuca, is formed by sandy - conglomerates and shales. The Tertiary geological formation, known as Barreiras, is constituted mainly with conglomerates. Both formations are very common in all Brazilian coast and they are the only two litho-stratigraphical units that outcrop in the continental portion of this basin. On the other hand, pre-Cambrian geological basement consists of a complex association of igneous and metamorphic rocks, which are intruded by diabasium and gabro dykes (Fundão Suite), generally oriented

in a NW-SE direction, probably related with the Atlantic Ocean opening (Figueiredo, 1985). Our work was developed in the continental part of this basin, in both sedimentary and crystalline environments, using different geophysical methods in several places of Espírito Santo Basin, mainly in Aracruz, Ibirapu and Rio Bananal Districts (Fig. 1).

METHODOLOGY

To perform the survey using TDEM method, field procedure consists in obtaining several electromagnetic sounding along a profile, to show resistivity changes in distance and depth (Fig. 2). The receiver coil, which is the same of transmitter coil in an arrangement known as coincident loop, samples the transient field at intervals of 400 μ s over a broad time range extending to 150 ms. For shallow depth investigations (groundwater and environmental studies) a smaller unit (SIROTEM MK3) is available with a transmitting loop of 20x20 m, permitting to explore depths up to 50 m with a survey productivity usually between 30-50 stations per day (*GEO INSTRUMENTS*, 1990). Beside the notch filter utilized in the data acquisition, in the data processing, we used the *TEMIX XL 4* commercial program (INTERPEX, 1996), which use common filters to eliminate the cultural noise (60 Hz and its harmonics).

The aim of a DCRE survey was to delineate resistivity boundaries (both horizontal and vertical) in a heterogeneous ground. In practice this is accomplished by two distinct procedures, often called, by analogy, vertical electric sounding (or drilling) and electric profiling (or trenching). In our case, as the resistivity boundaries are almost vertical planes, rather than horizontal, the electric profiling is adopted with this method. In the case of Schlumberger (gradient) method of

electric profiling (Fig. 3), which was the array used in our survey, the current electrodes (C_1 , C_2) remain fixed at a very large distance, for instance, a few hundred meters, and the potential electrodes with a small constant separation (P_1P_2) are moved between C_1 and C_2 . ρ_a is calculated from Equation 2 for each position that the mobile pair of potential electrodes takes. At the end of the profile line the gradient setup is transferred on the adjacent line and so on, until the area to be investigated has been covered. In fact, the profile will usually be at right angle to the 'strike' of the structures (e.g., faults or dikes discovered from geological map) to be detected so that we may expect to find somewhat similar results from profile to profile. Thus, in our work, DCRE was performed, using separations of 40, 50, 60, 70 and 80 m between currents electrodes, with the objective to measure the resistivity of the local geology in depths of 20, 25, 30, 35 and 40 m, respectively. A SYSCAL Junior equipment manufactured by IRIS Instruments was utilized in this survey, with maximum capability of 100 W, 200 V and a current of 1.2 mA (IRIS, 2000).

In FDEM method, HD/VD surveys were carried out using a GEONICS EM-34 resistivity meter has separate coils connected by a cable, which can be 10, 20 and 40 m long (Fig. 4). The effective depth investigation are 7.5 m (HD) and 15 m (VD) for a frequency of 6.4 KHz and separation of 10 m. For a separation of 20 m and frequency of 1.6 Hz, is obtained a depth investigation of 15 m (HD) and 30 m (VD), as soon as, for the separation of 40 m and frequency of 0.4 Hz, the investigation depth is 30 m (HD) and 60 m (VD) (GEONICS, 1990). This equipment is a two-man portable system comprising of a transmitter (Tx) and a receiver (Rx) coils. When Tx is energized with an alternating current at audio frequencies (100 - 5000 Hz), the time varying magnetic field arising from this effect induces very small currents in the earth, which is assumed uniform. These currents generate a secondary magnetic field (H_s), which is sensed together with the primary field (H_p) by the receiver, in the form of total field (H_T). Thus, H_s is a complicated function of the inter-coil spacing (s), the operating frequency (f) and the ground conductivity σ , as is shown in Equation 3 (McNeill 1980). The utilized arrays were an horizontal (vertical magnetic dipole - VD) and vertical (horizontal magnetic dipole - HD) coplanar positions. Profiles with 10 and 20 m of separation between transmitter and receiver were performed, using 6,4 and 1,6 Hz frequencies. As DCRE method, we performed a right angle to the strike of the structure, which was discovered from

geological map. In this case, only notch filter utilized in the data acquisition, without any filtering process in data processing, meaning that only qualitative interpretation of the data is available.

The basic WL system consists of a down hole probe (or 'sonde'), a multicore cable rose by a winch system, a probe-control surface module, and a recording unit (Fig. 5). Probes normally contain a combination of logging tools that do not mutually interfere, so that several types of geophysical logs can be obtained simultaneously using a multichannel recorder. A probe is lowered to the base of the section of the hole to be logged, and logging is carried out as the probe is winched back up through the section. In our case, equipment manufactured by AUSLOG (2001) was utilized through temperature, natural gamma ray, and spontaneous potential and normal/lateral resistivity logs. In addition to the probes which measure the physical properties of the formations penetrated, devices are available to measure the parameters of the hole itself, its diameter and deviation from the vertical. Open holes are usually logged with the full suite of logging tools just before the setting of casing. The hole diameter may increase above that of the drilling bit when friable formations are encountered. Where the borehole penetrates a permeable formation and the drilling mud is dense enough to exert pressure in the hole to exceed that in the formation, an invaded zone is formed in which the mud filtrate penetrates the wallrock and displaces indigenous formation fluid. The clay particles in suspension in the drilling mud are filtered off during invasion to form a mudcake whose character is determined by the porosity and permeability of the wallrock formation. Thus, the drilling of a borehole can cause major damage to penetrated fractures, and thereby significantly influence the response of the borehole logging tools. Drilling may also induce fracturing where none was present, both in the wallrock and in the core-cuttings. Similarly false indications of fractures can occur with washouts, borehole wall breakouts, chemical weathering of soluble minerals, and mechanical erosion of softer rocks. Therefore, considerable caution must be exercised in using a specific log response as definitive evidence of fracture or lithologic discontinuity. For quantitative log interpretation, a number of corrections have to be applied for factors such as hole irregularities and mudcake effects, commonly called environmental corrections. In our research, we did not use any correction, for this reason, only qualitative interpretation was able to do.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 6 shows a geo-electrical pseudosection obtained in Rio Bananal District from TDEM method with a coincident loop array of 20 m. This result shows that it is possible to detect more resistive areas in black (basement) and separate it from more conductive formations in white (sediments or fractures/faults). This figure also shows clearly that with this method we are able to locate discontinuities within crystalline terrains (fractures/faults), which indicate the best places to drill wells and where there are great possibilities to contain groundwater with adequate quality and quantity for human consumption. The conductive zone in the higher part of the figure is the weathering layer around 25 m wide, which is easily detected for this method, while that the conductive lower part of the same figure can be originated by cultural noise presents in the data, for this reason, it should be ignored.

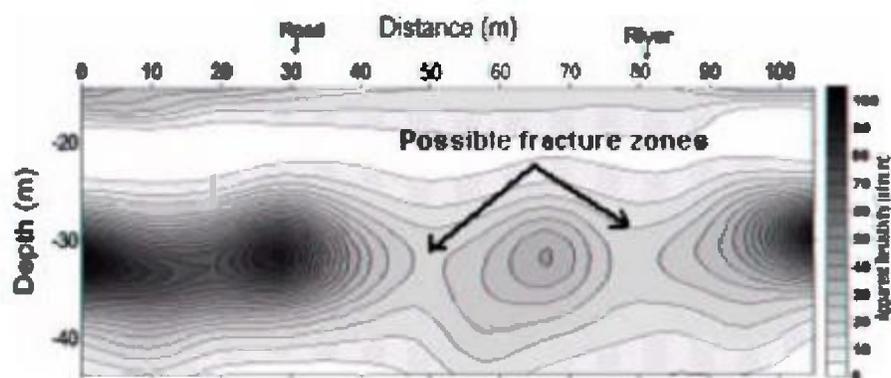


Fig. 6. TEM resistivity in Rio Bananal District.

In the Figure 7, the profiles collected in Aracruz District show lower resistivity values between 150 and 800 m for both separations of transmitter/receiver and both kind of dipoles (VD and HD). This anomaly is probably caused by fractures or faults in the crystalline basement, which is outcropping in the area. VD shows more sensibility or resolution for shallow heterogeneities, as observed in the oscillation of the curves (Fig. 7a). Geo-electrical pseudosection shown in Figure 7b with DCRE method, using a dipole-dipole array, in the same position of HD/VD profiles, which also are shown in Figure 7a. In the center of the figure, between the distances of 90 e 180 m, we can observe a region with low

resistivity values, which may be related to the presence of a fault or fracture in the bedrock, which is dipping at depth. Note that the wide of the anomaly in both types of geophysical methods are very similar, but it is important to mention that VD/HD was detecting deeper than DCRE inside the fracture. Also, resistivity values are similar in the end of the

profiles and the pseudosection, but are different in the center of both (100 ohm.m or more in one case against values less than 100 ohm.m in the another case).

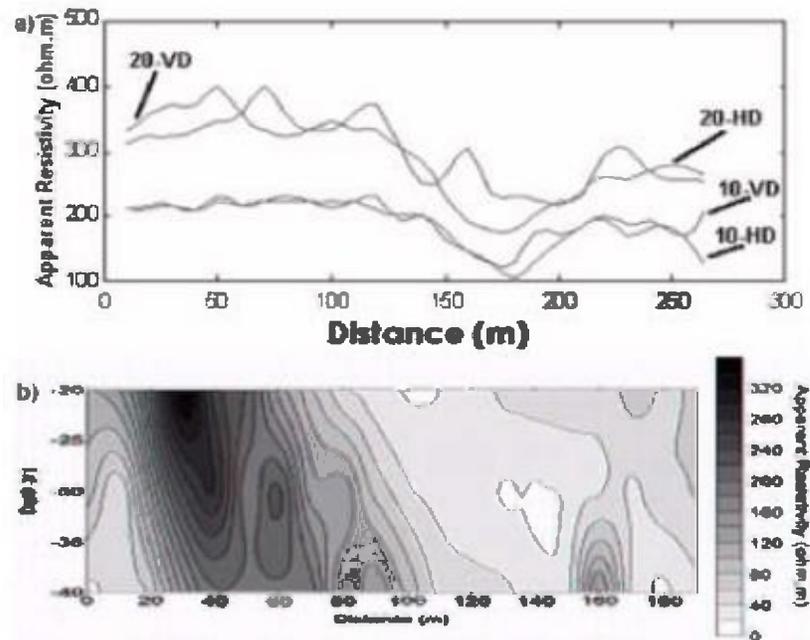


Fig. 7. HD/VD profiles and b) DCRE profile in Veracruz District.

On the other hand, Figure 8 shows the well logs obtained in Ibiracú District, where TEMP, GR, CCL, SP, LN and SN mean temperature, gamma ray, Casing Collar Locator (CCL), spontaneous potential, long and short normal resistivity, respectively. In this study, we do not consider CCL because no casing existed within the boreholes. This well shows a thermal gradient changing between 24 - 27 degrees in less than 100 m (TEMP profile), with water table possible located at depths of 40 m, approximately, as indicated the changes in the curvature of the temperature curve. On the other hand, LN and SN logs present resistive layers with high values in different depths: 20 - 25, 32 - 38, 40 - 45 and

52 - 65 m, which are related with the presence of sand in these levels. The SP log shows many variations in this well, with low values between 20 - 25, 32 - 38, 52 - 55 and 60 - 65 m, in a opposite way of LN and SN logs, probably associated with sand layers. In the GR profile we can see low values between 15 - 25 as well as 40 - 60 m, related with the presence of sand, and high values in depths of 30 - 40 and below 60 m, probably clay. This is also shown in LN and SN resistivity logs with low values. These results can indicate where clay and sand are inter-bedded in depth, which is very important in the definition of the aquifers and to choose the right type of casing when the wells are designed.

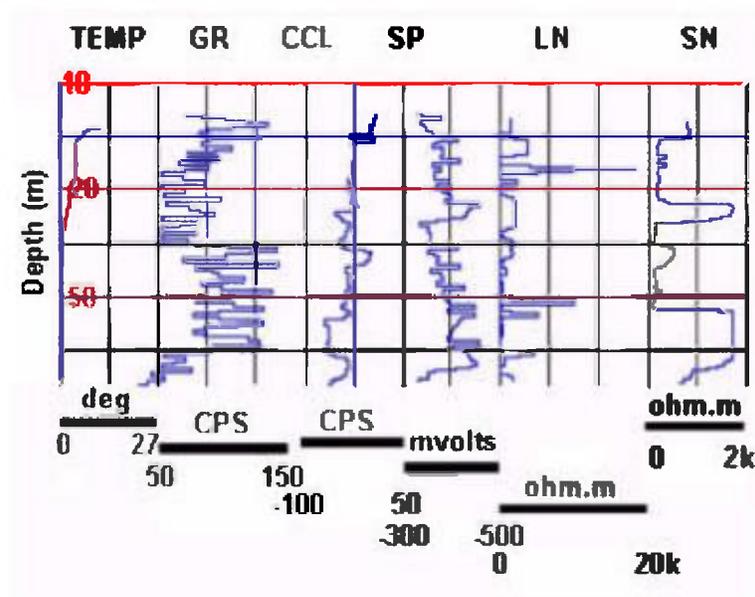


Fig. 8. Logs performed in Ibirapu District.

All these surveys showed us that in TDEM method a sounding is obtained more rapidly and conveniently, because there is no need to expand the transmitter-receiver separation with the use of coincident loop array. Since for each sounding location, the transmitter and receiver coils remain fixed, repeated measurements of the decaying field can be made in selected time windows and stacked to improve the signal-to-noise ratio. Thus, TDEM showed capability of greater penetration depth and the ability to see through the conductive overburden. Meanwhile, TDEM systems have a number of drawbacks: the equipment is relatively complicated and expensive, field operations involving relocation of large loops are cumbersome,

and, there is a widely felt lack of practical. Meanwhile, FDEM survey seemed more efficient than DCRE in obtaining profiles, because it is faster, without necessity of expanding electrodes in the array. Although, the presence of cultural noise is a disadvantage of FDEM comparing with DCRE, because data processing, through the use of filters, is necessary to clean the cultural noise of the data. The great advantage of DCRE method is the inexistence of data processing and the low prices of the equipment, besides the easier way to interpret the data. WL method, on the other hand, is a powerful tool to measure the physical and geometrical properties of the geological formations *in situ*, it can be used as calibration of the other surface geophysical methods, because it has a better confidence to derive the parameters of the geological formations.

CONCLUSIONS

In this work, we used four geophysical techniques (DCRE, TDEM, FDEM and WL) to detect groundwater presence in three areas of Espírito Santo State: Aracruz and Rio Bananal districts (crystalline terrains), as well as in Ibirapu District, the last one inside the sedimentary basin. With these methods, we were able to detect the petrophysical characteristics (resistivity, radioactive properties, spontaneous potential, temperature, etc.) of different underground targets, as well as, it was possible to quantify their depth and geometry. Thus, results derived from data plotting and preliminary interpretation of surface data shown that, with this wide range of techniques, it is possible not only to map the depth and the length of sedimentary layers and the fault/fracture planes, but also to know the exact position of these structural features. This kind of information allowed us to choose the best places to drill the wells, to design their casings and thus, to obtain abundant hydrological resources.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Rio de Janeiro State Foundation for Research (FAPERJ) and Geohydro Geophysical Services. We are grateful to LENEP/UENF and ON/MCT for computational framework and fieldwork facilities and Brazilian National Scientific Council (CNPq) for a research fellowship.

REFERENCES

AUSLOG. 2001. AUSLOG user's manual, AUSLOG Pty Ltd., Australia.

Ellis, D.V. 1987. Well logging for earth scientist. Elsevier, New York. 532 p.

Figueiredo, A.M.F. 1985. Geologia das Bacias Brasileiras. In: WEC Brasil, Avaliação das Bacias Brasileiras, Schlumberger. 235 p.

GEO INSTRUMENTS. 1990. SIROTEM MK3 user's manual, Geo Instruments Pty Ltd., Australia.

GEONICS. 1990. EM-34 user's manual, GEONICS Ltd., Canada.

INTERPEX. 2002. TEMIX XL V.4 user's manual, INTERPEX Ltd., USA.

IRIS. 2000. SYSCAL Junior user's manual, IRIS Ltd., France.

McNeill, J.D. 1980. Electrical conductivity of soils and rocks. Technical Note TN-5, GEONICS Ltd., Mississauga, Canada, 21 p.

Nabighian, M.N. 1987. Electromagnetic methods in applied geophysics. I. Theory and Vol. II, Applications, Parts A and B. Society of Exploration Geophysicist, Tulsa. 513 and 972 p.

Sharma, P.V. 1997. Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press, Cambridge – UK, 475 p.

Versteeg, R. 1998. Introduction to Environment and Engineering Geophysics, SAGEEP 98, Chicago, IL, 154 p.

Vieira, R.A.B., M.P. Mendes, P.E. Vieira, L.A.R. Costa, C.V. Tagliari, A.P. Bacelar & F.J. Feijo. 1994. Bacias de Espirito Santo e Mucuri. Boletim de Geociencias da PETROBRAS. Rio de Janeiro. 8(1): 191-202.

Ward, S.H. 1990. Geotechnical and Environmental Geophysics. Vol. I. Review and Tutorial; Vol. II: Environmental and Groundwater; Vol. III: Geotechnical. Society of Exploration Geophysicist, Tulsa. 389, 342 and 300 p.

Recibido agosto de 2006, aceptado julio de 2007.



VARIABILIDAD ESPACIAL DEL AFLORAMIENTO EN EL GOLFO DE PANAMÁ

Luis M. Gonzalez¹ y Luis D' Croz^{2,3}

¹ Instituto del Canal de Panamá, Universidad de Panamá, Estafeta Universitaria, Panamá; mreal9@yahoo.es

² Departamento de Biología Marina y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá

³ Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Apdo. 0843-03092, Panamá; e-mail:dcrozl@si.edu

RESUMEN

Aunque es bien conocida la variación estacional del patrón termohalino en el Golfo de Panamá, la distribución espacial de éstas características es prácticamente desconocida. En vista de ello, hemos utilizado la Base de Datos Oceanográficos del Océano Mundial (WOD01) para describir la variabilidad de la estructura termohalina en el Golfo de Panamá durante la temporada lluviosa y en la temporada seca cuando ocurre el fenómeno de afloramiento. Se seleccionaron los datos correspondientes a dos cruceros oceanográficos que presentan la mayor densidad en sitios de recolecta de muestras durante noviembre de 1967 (temporada lluviosa) y marzo de 1933 (temporada seca). Se utilizó el paquete de programas Ocean Data View para leer la información en WOD01, formar una colección de datos y efectuar el análisis de los perfiles oceanográficos. Los resultados indican que la distribución de la temperatura superficial del mar en el Golfo de Panamá es significativamente diferente entre la temporada lluviosa y la temporada seca (Prueba- $t = 24$, $p < 0.01$). Durante la temporada lluviosa, las condiciones superficiales son bastantes homogéneas con temperaturas cálidas ($> 27.5^{\circ} \text{C}$) y salinidad diluida (< 31 psu), por efecto de las lluvias. Durante la temporada seca el agua superficial es más fría ($< 21^{\circ} \text{C}$) y más salina (> 34 psu). En la sección transversal promedio del golfo, la termoclina (definida como la isoterma de 20°C), se hunde hacia el lado Oeste y por el contrario, prácticamente rompe en la superficie en el lado Este del golfo, donde el afloramiento es más intenso.

PALABRAS CLAVES

Termoclina, vientos, afloramiento, transporte de Ekman, WOD01, América Central.

ABSTRACT

While the seasonal variability of water properties in the Gulf of Panama is relatively well known, processes which rule the spatial variability are poorly understood. In view of this, we aimed to study the spatial variability of the termohaline structure of the gulf during the dry season upwelling and the rainy season using available archived data from the World Ocean Data Base (WOD01). For the selection of the data base we considered the results from two oceanographic cruises with the largest number of sampling sites. The selected cruises were carried in November 1967 (rainy season) and in March 1933 (dry season). We used the software packages from Ocean Data View to access the WOD01, built a data base, and draw the oceanographic profiles. Results have confirmed significant sea surface temperature differences between the rainy and the dry seasons (z -test = 24, $p < 0.01$). Warm sea surface temperature (SST > 27.5° C) and low salinity (< 31 psu) waters were commonplace during the rainy season. Colder (SST < 21° C) and more saline (> 34 psu) waters were the norm during the dry season. The mean hydrographic profile from the along-shelf transect during the dry season, showed the thermocline to be tilted toward the West side of the gulf, whereas the thermocline nearly breaks in the surface in the East side, where upwelling is more intense.

KEYWORDS

Thermocline, winds, upwelling, Ekman transport, WOD01, Pacific Central America.

INTRODUCCION

Las costas del Pacífico de la América Central y Panamá están expuestas a procesos derivados de la interacción atmósfera-océano que resultan en importantes gradientes oceanográficos. La región se encuentra bajo la influencia de una zona de baja presión y vientos ascendentes llamada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde convergen los vientos alisios del noreste y sureste (Xie et al., 2005, Amador et al., 2006). A la ZCIT se asocian intensas y frecuentes lluvias por lo que su posición define el clima centroamericano. La ZCIT se posa sobre Panamá desde mayo hasta diciembre que es el periodo cuando se desarrolla la temporada lluviosa. Desde enero hasta principios de abril la ZCIT se encuentra al Sur del istmo y acontece la temporada seca. Durante este periodo, un sistema atmosférico de alta presión en el Caribe y Golfo de México desarrolla un patrón de vientos que cruzan el istmo centroamericano en dirección al Pacífico. Se forman surtidores de viento en las secciones de la cordillera donde hay depresiones topográficas, como es el caso en

el Istmo de Tehuantepec (México), en el área de los lagos de Nicaragua y en la parte central del Istmo de Panamá, donde se construyó el canal. Estos surgidores son particularmente intensos durante la temporada seca (el invierno boreal) y desplazan las aguas costeras superficiales hacia el mar abierto dando lugar a procesos de afloramiento en los golfos de Tehuantepec, Papagayo (Costa Rica) y Panamá (Fiedler & Talley, 2006). Los vientos también originan un afloramiento oceánico (en aguas profundas), conocido como el Domo Térmico de Costa Rica (Kessler, 2002). El proceso de afloramiento causa el ascenso de la termoclina y de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes que favorecen el crecimiento del fitoplancton que sostiene abundantes recursos pesqueros centroamericanos (Fiedler, 2002).

En la Figura 1 se representa la plataforma continental del Pacífico de Panamá. Dicha plataforma se divide en el Golfo de Panamá (área de 27,175 km²) y el Golfo de Chiriquí (área de 13,119 km²). En el Golfo de Panamá el afloramiento se desarrolla entre febrero y marzo, cuando los vientos alisios del norte son más intensos (Smayda, 1966, Forsbergh, 1969, Kwiecinski et al., 1975, Kwiecinski & Chial, 1983). Durante este periodo ocurre el descenso en el nivel de mar en la costa y la temperatura superficial decrece en hasta 10° C. El afloramiento es la razón de la gran productividad biológica del Golfo de Panamá (D'Croz et al., 1991). En abril, con la atenuación de los vientos, la superficie del mar vuelve a tornarse cálida y la concentración de nutrientes se empobrece, condición que se mantiene durante toda la temporada lluviosa (D'Croz & Robertson, 1997, D'Croz & O'Dea, 2007).



Fig. 1. Mapa de la República de Panamá, mostrando el Golfo de Panamá. En el inserto se aprecia la ubicación regional.

A pesar de la importancia que tiene el afloramiento para la ecología y pesquerías en el Golfo de Panamá, la variabilidad espacial del evento oceanográfico ha sido escasamente descrita (Forsbergh, 1969, Kwiecinski et al., 1975), debido a la limitada cobertura geográfica de las investigaciones realizadas. Sin embargo, hoy día, con el establecimiento de la Base de Datos Oceanográficos del Océano Mundial 2001, conocida como WOD01 (Conkright et al., 2002), es posible realizar investigaciones con amplia cobertura geográfica a partir de la información contenida en este archivo. Esta base está disponible en: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD01/>. En el presente trabajo hacemos un análisis de las condiciones oceanográficas que caracterizan al Golfo de Panamá durante el afloramiento.

METODOLOGÍA

Los datos hidrográficos utilizados en este trabajo son un subconjunto para las aguas territoriales panameñas de la información disponible en la Base de Datos Oceanográficos del Océano Mundial 2001. Se utilizaron archivos de temperatura (en °C) y la salinidad (en psu) señalados como de buena calidad y actualizados hasta marzo de 2006. Se escogió la información de dos cruceros, uno correspondiente a la temporada lluviosa y otro a la temporada seca, que presentan la mayor densidad en sitios de recolecta de muestras. Para la temporada lluviosa, se escogieron los datos de un crucero que recolectó información en 24 estaciones neríticas someras y profundas, entre el 14 y 18 de noviembre de 1967 (Fig. 2a). Se recolectaron muestras de agua hasta la profundidad en la que se encontró temperatura de 20° C considerada como el centro de la profundidad de la termoclina estacional en el Pacífico oriental tropical (Fiedler et al., 1991, Kessler, 2002). Los datos para la temporada seca corresponden a un crucero realizado entre el 9 al 17 y del 21 al 24 de marzo de 1933, en el que se muestrearon 86 estaciones dentro del golfo (Fig. 2b). En cada estación se hicieron lances con botella colectora desde la superficie hasta el fondo. De esta manera, se obtuvieron perfiles de temperatura y salinidad a varios niveles en la columna de agua. Utilizamos el paquete de programas Ocean Data View (Schlitzer, 2002), para leer los datos de WOD01, formar un archivo y efectuar el análisis de los perfiles oceanográficos.

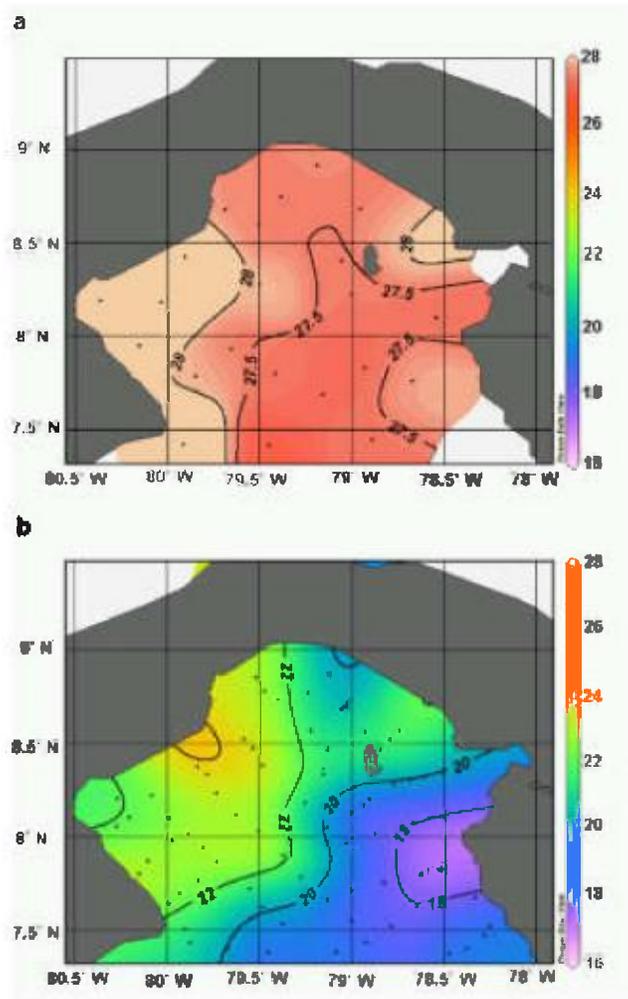


Fig. 2. Distribución de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}$ C), en el Golfo de Panamá. a. Durante la temporada lluviosa (noviembre 1967). b. Durante el afloramiento, estación seca (marzo 1933). Los puntos negros indican los sitios de recolecta de muestras de agua.

Como velocidad del viento se han considerado los promedios mensuales de la velocidad del viento del Norte calculados a partir de un registro de 51 años (1915-1965), medidos en el Canal de Panamá, en la estación meteorológica localizada en Balboa, Ciudad de Panamá. Se utilizó el programa Surfer 8 (<http://www.goldensoftware.com/>), para formar una cuadrícula, interpolar y graficar los datos de viento

medidos en las estaciones hidrográficas realizadas en el crucero durante marzo de 1933. Como índice del esfuerzo del viento sobre las aguas del golfo utilizamos la relación: $\tau = \rho C_D U^2$. En esta ecuación $\rho=1.3\text{kg m}^{-3}$ es la densidad del aire, U es la velocidad del viento (m s^{-1}) y C_D es un coeficiente de arrastre ($C_D = 0.001$ en el caso presente).

RESULTADOS Y DISCUSION

Temperatura superficial del mar y los vientos.

Las temperaturas superficiales cálidas son típicas en la temporada lluviosa (mayo a diciembre) en el Golfo de Panamá y esta condición se mantiene hasta el final de año (D'Croz & Robertson, 1997). Este estado cambia completamente durante la temporada seca (enero a abril), cuando el golfo queda sujeto a los vientos del Norte y se produce el afloramiento (Forsbergh, 1969, Kwiecinski & Chial, 1983). En el Golfo de Panamá la termoclina alcanza su máximo ascenso entre los meses de febrero y marzo (Forsbergh, 1969, Kwiecinski et al., 1975, D'Croz & O'Dea, 2007). Por el contrario, entre los meses de octubre y diciembre la termoclina se encuentra en la profundidad máxima, generalmente entre 50 y 60 m.

Las razones del cambio de nivel de la termoclina están vinculadas al mecanismo de transporte de Ekman que provoca un movimiento de agua hacia la derecha (en el hemisferio Norte), de la dirección en que sopla el viento (Kessler, 2006). El surtidor de viento que cruza el istmo en la temporada seca está alineado con el eje del golfo y es más intenso en la parte central y produce divergencia en las aguas a la izquierda de la dirección de flujo del viento. Esto, a su vez, induce el transporte vertical de Ekman que causa la elevación de las termohalinas (Kessler, 2006). La turbulencia formada por los fuertes vientos del Norte propicia la mezcla de las aguas de la termoclina con las superficiales y se forma una pluma de agua fría y salina del lado Este del golfo que se extiende hasta Colombia (Rodríguez-Rubio & Stuardo, 2002). En cambio, a la derecha del flujo del viento en el Golfo de Panamá ocurre un proceso de convergencia que causa el hundimiento de la masa superficial frente a la Península de Azuero. La migración vertical de la termoclina es un fenómeno estacional que ocurre en todas las áreas de afloramiento costero de la América Central (Kessler, 2002).

Mediante el análisis de los datos se confirmó que la distribución de la temperatura superficial del mar en el Golfo de Panamá es significativamente diferente entre la temporada lluviosa y la temporada seca (prueba- $t = 24$, $p < 0.01$). La temperatura superficial fue homogéneamente cálida durante la temporada lluviosa. La temperatura promedio fue 27.8°C y varió entre 27.1°C y 29.55°C (Fig. 2a).

La Fig. 3a presenta el patrón promedio mensual del índice de esfuerzo del viento (τ), a partir de las mediciones de vientos en Balboa. El valor de τ aumenta a partir de enero y alcanza el promedio máximo en marzo (0.037 N m^{-2}). Los valores τ más bajos ocurren entre mayo y la primera mitad de diciembre. En la Fig. 3b y en el Cuadro 1, vemos el campo de viento correspondiente al crucero de marzo de 1933. La intensidad del viento durante este crucero sugiere un evento de afloramiento particularmente fuerte y los campos de vientos en el eje central del golfo corresponden a índices de esfuerzo por encima de 0.1 N m^{-2} . Este valor de esfuerzo del viento supera por un orden de magnitud a los calculados a partir de la estación de Balboa, posiblemente porque éstos últimos son un promedio de 51 años y la intensidad del viento en Balboa está reducida por efecto de la topografía local. En general, la intensidad del viento es superior mientras mayor es la distancia a la costa (Fig. 3b).

La temperatura superficial promedio durante el crucero de la estación seca fue 20.7°C y varió entre 16.2°C y 25.4°C . En general, durante este afloramiento ocurrió un descenso de la temperatura superficial del orden de los 10°C (Fig. 2b). Los intensos vientos y el descenso de la temperatura superficial registrados dan apoyo a la idea de que el afloramiento descrito se clasifica como de intensidad fuerte, según el análisis histórico de estos eventos en el Golfo de Panamá (D'Cross et al., 2003).

La distribución de la temperatura de la sección longitudinal promedio del Golfo de Panamá durante el crucero de marzo de 1933 sugiere que la termoclina asciende hasta ubicarse muy cerca de la superficie (Fig. 4a). Esto causa el descenso de la temperatura superficial durante la temporada seca (Fig. 2b).

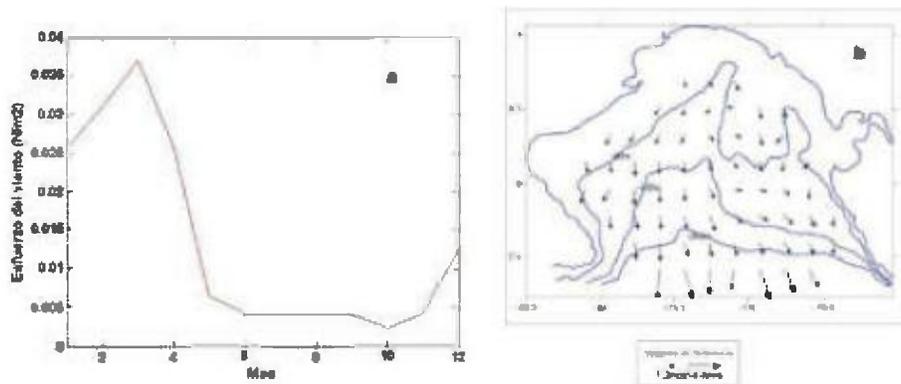


Fig. 3. a. Esfuerzo del viento (τ), promedios mensuales de un registro de los años 1915 a 1965. b. Campo de viento observado en el crucero de 1933.

Cuadro 1. Promedios de la velocidad y dirección del viento en el crucero de marzo de 1933 en el Golfo de Panamá.

Día	Velocidad promedio (m/seg)	Dirección promedio (grados)
9	6.1	345
10	4.4	350
11	14.0	360
12	8.9	340
13	3.5	340
14	4.4	340
15	1.7	330
16	3.1	335
17	3.4	300
21	0.9	330
22	2.5	350
23	4.8	360

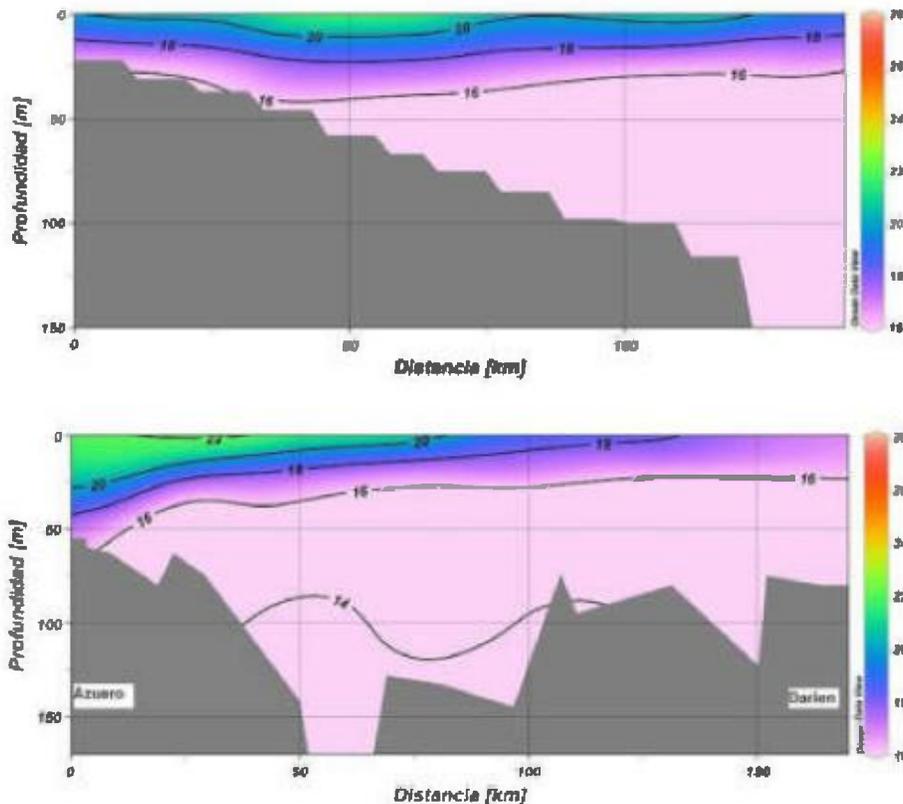


Fig. 4. Distribución de las isotermas ($^{\circ}$ C) durante el afloramiento, estación seca (marzo 1933). a. En sección longitudinal del Golfo de Panamá (longitud $79^{\circ} 15'$ W), b. En sección transversal en la entrada al Golfo de Panamá (latitud $7^{\circ} 45'$ N).

Características termohalinas

De acuerdo a los diagramas de temperatura-salinidad (T-S), la mayor parte de las salinidades medidas durante la temporada lluviosa (noviembre de 1967), son menores a 34 y las temperaturas son mayores que 25° C (Fig. 5a). Estas características concuerdan con la masa de agua conocida como Agua Superficial Tropical ($T > 25^{\circ}$, $S < 34$), que según Fiedler & Talley (2006), ocupa gran parte del Pacífico Oriental Tropical. Es una masa de agua cálida por efecto de la alta irradiación solar y su baja salinidad se relaciona al exceso de la precipitación sobre la evaporación que ocurre por debajo de la ZCIT y a la fuerte escorrentía que proviene de la cuenca Oeste de los Andes colombianos (Fiedler & Talley, 2006).

El giro ciclónico de Colombia posiblemente mueve parte del Agua Tropical Superficial ubicada en Colombia hacia Panamá y por esta razón, la salinidad promedio en el Golfo de Panamá es la más baja (< 31 psu) de todo el Pacífico Oriental tropical. Salinidades más bajas que 34 psu, generalmente se encuentran en aguas superficiales con profundidades menores de 50 metros (D’Croz & O’Dea, 2007). Bajo condiciones de afloramiento, el golfo se llena con agua más salina y fría, como puede comprobarse en el diagrama T-S para marzo de 1933 (Fig. 5b). En el área de mayor intensidad de afloramiento, la temperatura superficial es 16.45 °C y la salinidad 34.81 psu. Estas propiedades corresponden al agua que se encuentra por debajo de la termoclina estacional, aproximadamente entre 50 m y 80 m.

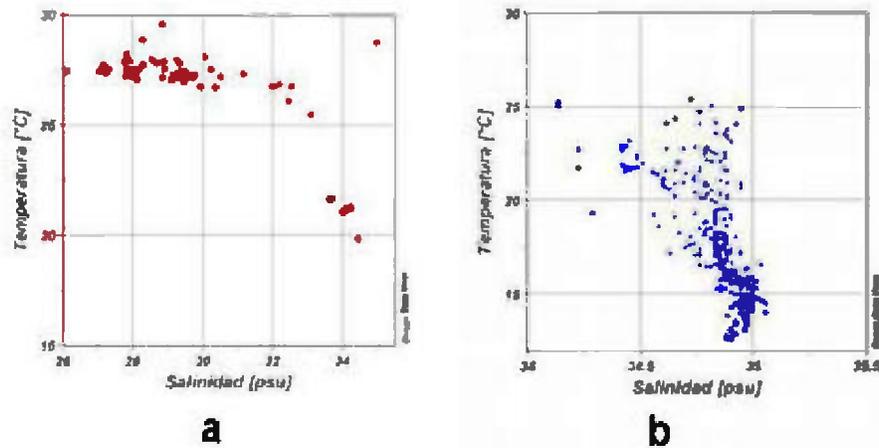


Fig. 5. Diagramas T-S (temperatura-salinidad), para aguas del Golfo de Panamá.
a. Durante la temporada lluviosa (noviembre 1967) y que representa la condición sin afloramiento. b. Durante el afloramiento correspondiente a la temporada seca (marzo 1933).

CONCLUSIONES

El patrón espacial en la distribución de la temperatura superficial del mar en el Golfo de Panamá es significativamente diferente entre la temporada lluviosa y la temporada seca. Durante la temporada lluviosa predominan las temperaturas cálidas (> 27.5° C) y salinidad diluida (< 31 psu), por efecto de las lluvias y la escorrentía. Esta temporada se

caracterizó por la poca variabilidad en las condiciones superficiales. En cambio, durante la temporada seca el agua superficial es más fría (< 21° C) y más salina (> 34 psu), como resultado del ascenso de la termoclina. El efecto del afloramiento es más intenso en el lado oriental del golfo en donde la temperatura superficial es 4° C más fría que en el lado occidental. Esto es consecuencia de la topografía de la termoclina, que se inclina hacia el lado occidental (Península de Azuero), pero prácticamente llega a la superficie en el lado oriental. Las razones de este patrón se vinculan al mecanismo de transporte de Ekman que está asociado a la dirección e intensidad de los vientos (Willet et al., 2006).

REFERENCIAS

Amador, J.A., E.J. Alfaro, O.G. Lizano & V.O. Magaña. 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 101-142.

Conkright, M.E., J.I. Antonov, O. Baranova, T. P. Boyer, H.E. García, R. Gelfeld, D. Jonson, R.A. Locarnini, P.P. Murphy, T.D. O'Brien, I. Smolyar & C. Stephens. 2002. *World Ocean Database 2001, Volume 1: Introduction*. NOAA Atlas NESDIS 42, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 167 pp.

D'Croz, L. & A. O'Dea 2007. Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* 73: 325-340

D'Croz, L., B. Kwiecinski, J.L. Maté, J.A. Gómez & J.B. Del Rosario. 2003. El afloramiento costero y el Fenómeno de El Niño: Implicaciones sobre los recursos biológicos del Pacífico de Panamá. *Revista Tecnociencia* 5: 35-49.

D'Croz, L. & D.R. Robertson. 1997. Coastal oceanographic conditions affecting coral reefs on both sides of the Isthmus of Panama. *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium* 2, 2053-2058.

D'Croz, L., J.B. Del Rosario & J.A. Gómez. 1991. Upwelling and phytoplankton in the Bay of Panamá. *Revista de Biología Tropical* 39: 233-241.

Fiedler, P.C. 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research* 49: 321-338.

Fiedler, P.C. & L.D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 143-180.

Fiedler, P.C., V. Philbrick, & F.P. Chavez. 1991. Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnology and Oceanography* 36: 1834-1850.

Forsbergh, E. D. 1969. On the climatology, oceanography and fisheries of the Panamá Bight. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 14: 49-259.

Kessler, W.S. 2002. Mean three-dimensional circulation in the north-east tropical Pacific. *Journal of Physical Oceanography* 32: 2457-2471.

Kessler, W.S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 181-217.

Kwieceński, B. & B. Chial. 1983. Algunos aspectos de la oceanografía del Golfo de Chiriquí, su comparación con el Golfo de Panamá. *Revista de Biología Tropical* 31: 323-325.

Kwieceński, B., A.L. Jaén & A.M. Muschett. 1975. Afloramiento en el Golfo de Panamá durante la temporada de 1973. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 2: 73-80.

Rodríguez-Rubio, E. & J. Stuardo. 2002. Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field. *Proceedings of the Indian Academy of Science (Earth Planet Science.)*, 111: 227-236.

Schlitzer, R. 2002. Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Alemania (<http://www.awi-bremerhaven.de/GPH/ODV>).

Smayda, T.J. 1966. A quantitative analysis of the phytoplankton of the Gulf of Panamá. III. General ecological conditions, and the phytoplankton dynamics at 8o 45'N, 79o23'W from November 1954 to May 1957. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin 11, 353-612.

Willett, C.S., R. R. Leben & M.F. Lavin. 2006. Eddies and Tropical Instability Waves in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 218-238.

Xie, S-P., H. Xu, W.S. Kessler & M. Nonaka. 2005. Air-sea interaction over the eastern Pacific warm pool: gap winds, thermocline dome, and atmospheric convection. *J. Clim.* 18: 5-20.

AGRADECIMIENTOS

La Red de Datos e Información Oceánica para las regiones del Caribe y América del Sur (ODINCARSA por sus siglas en inglés), proporcionó entrenamiento en la gestión de datos oceanográficos a uno de los autores (L.M. González), lo cual ha permitido el acceso a bases de datos de cobertura global. La Autoridad del Canal de Panamá facilitó la información sobre los vientos en la estación de Balboa. Los autores agradecen al editor de la Revista *Tecnociencia* y a un revisor anónimo sus comentarios y observaciones que han mejorado la presentación del manuscrito. Se agradece a J.B. Del Rosario por el apoyo.

Recibido septiembre de 2006, aceptado agosto de 2007.



TITYUS CERROAZUL LOURENÇO (SCORPIONES: BUTHIDAE): NUEVA SINONIMIA, NOTAS SOBRE SU BIOLOGÍA, NUEVOS REGISTROS DE DISTRIBUCIÓN EN PANAMÁ, DESCRIPCIÓN DEL MACHO PREVIAMENTE DESCONOCIDO Y PICADURA MORTAL DE UN NIÑO

Diomedes Quintero A. y Roberto J. Miranda C.

Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Laboratorio de Artrópodos Venenosos, Universidad de Panamá, Estafeta Universitaria 0824, Panamá, Panamá
DQUINTER@ancon.up.ac.pa ; mirandarje@gmail.com

RESUMEN

Especímenes adicionales al holotipo de *Tityus cerroazul* Lourenço, 1986 (Scorpiones: Buthidae), hembra de Cerro Azul, Provincia de Panamá, Panamá, no se habían reportado hasta el presente. En el presente trabajo reconocemos que el holotipo es una hembra juvenil, colocamos a *Tityus mongei* Lourenço, 1996, bajo su sinonimia, describimos al macho que hasta el presente era desconocido, presentamos nuevos registros de distribución en Panamá, notas sobre su biología y el primer caso conocido de picadura mortal de un niño por un macho subadulto de ésta especie. Discutimos e ilustramos caracteres diagnósticos importantes para reconocer a ésta especie endémica de Panamá y las variaciones intraespecíficas basadas en el examen de 16 especímenes: 1 ♂ adulto, 2 ♂♂ subadultos, 8 ♀♀ y 5 juveniles.

PALABRAS CLAVES

Tityus, grupo *bahiensis*, picadura mortal, sinonimia, endemismo.

ABSTRACT

Besides the holotype of *Tityus cerroazul* Lourenço, 1986 (Scorpiones: Buthidae), female from Cerro Azul, Panama Province, Panama, no additional specimens have been reported to the present. Here we recognize that the holotype is an immature female, *Tityus mongei* Lourenço, 1996 is considered a New Synonymy of *Tityus*

cerroazul, the previously unknown male is here described, new distribution records in Panama are presented, observations on its natural history, and the first known case of death of a child caused by the sting of a subadult male of this species. Diagnostic characters are discussed and illustrated, intraspecific variations recognized based on the examination of 16 specimens: 1 ♂, 2 ♂♂ subadults, 8 ♀♀ y 5 immatures, necessary for the future recognition of this endemic species of Panama.

KEYWORDS

Tityus bahiensis species group, deadly sting, synonymy, endemism.

INTRODUCCIÓN

Los alacranes de Panamá han sido pobremente estudiados. Los únicos trabajos que tratan sobre los alacranes de Panamá han sido los de Francke & Quintero (1984), Lourenço & Méndez (1984), Lourenço (1986, 1996) y Quintero (2005).

El Laboratorio de Artrópodos Venenosos (LAV) del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP) posee colectas de alacranes de todo el territorio nacional que han sido llevadas a cabo esporádicamente durante los últimos 25 años. Con la alarma nacional por la muerte de varios niños en los años 2006 y 2007 como consecuencia de picaduras de alacranes, la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá ha fortalecido el trabajo de investigación sobre los alacranes presentes en Panamá. Se han realizado giras de colectas dedicadas a identificar las especies de alacranes presentes en sitios donde han ocurrido picaduras fatales y se ha elaborado un plan nacional de trabajo para hacer frente a éste problema nacional de salud pública.

Tityus cerroazul Lourenço, 1986 fué descrito en base a una hembra colectada en Cerro Azul, Provincia de Panamá, Panamá. No se han reportado hasta la fecha especímenes adicionales de ésta especie. En el presente trabajo reconocemos que el holotipo de *T. cerroazul* es una hembra juvenil, colocamos en su sinonimia a *Tityus mongei* Lourenço, 1996, describimos al macho de la especie, hasta ahora desconocido, presentamos nuevos registros de distribución de la especie en Panamá, notas sobre su biología y presentamos el primer caso conocido de picadura mortal en un niño por una hembra de ésta especie.

Discutimos e ilustramos caracteres diagnósticos y las variaciones intraespecíficas necesarias para una mejor identificación de ésta especie endémica de Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ilustraciones y mediciones fueron llevadas a cabo con un estereomicroscopio Leica MZ APO acoplado con cámara lúcida y un ocular milimetrado. En las colectas nocturnas se utilizaron dos lámparas de luz ultravioleta y durante el día buscamos alacranes en plantas epífitas, especialmente bromelias, en la hojarasca y debajo de troncos caídos sobre el suelo. Se llevaron a cabo las siguientes seis giras de colecta en la República de Panamá, sitios marcados en Fig. 14: dos giras a Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, Provincia Coclé, 800 m.s.n.m., los días 23 junio y 14 de julio 2007; una gira al área de Santa Rita Arriba, Provincia Colón, 300-400 m.s.n.m., 7 de julio 2007; una gira al Parque Nacional Altos de Campana (Refugio Los Pinos 8°40'52"N, 79°55'50"O, 700 m.s.n.m.), Provincia Panamá, 26 julio 2007; una gira a Cerro Brewster (Refugio de Guagaral 9°19'77"N, 79°17'20"O, 800 m.s.n.m.), Provincia Panamá, 25-29 agosto 2006; una gira a la Estación Burbayar (9°18'53"N, 78°59'27"O, 375 m.s.n.m., Provincia Panamá) y Estación Nusagandi (450 m.s.n.m., Comarca San Blas), 19-22 julio 2007. El material examinado está depositado en el Laboratorio de Artrópodos Venenosos (LAV) del Museo de Invertebrados G.B. Fairchild de la Universidad de Panamá.

RESULTADOS

Tityus cerroazul Lourenço, 1986

Figs. 1-14

Tityus cerroazul Lourenço, 1986: 637-641. Holotipo hembra juvenil. Cerro Azul, Provincia de Panamá. R. Hinds col, noviembre 1965, depositado Muséum d'Histoire Naturelle, Paris (RS-8551), no examinado.

Tityus mongei Lourenço, 1996: 178-181. Holotipo hembra. Río Llano Sucio (erróneamente escrito "Riollano"), área Santa Rita, vertiente

Atlántica, Provincia de Colón, Panamá, col. D. Quintero, mayo 1971, depositado Muséum d'Histoire Naturelle, Paris (RS-7928), no examinado. **Nueva sinonimia.**

DIAGNOSIS Y SINONIMIA

T. cerroazul Lourenço ha sido pobremente caracterizada y hasta el presente solamente se conocía por su holotipo hembra, que en el presente trabajo reconocemos es un juvenil (39.7 mm largo total). El holotipo de *T. cerroazul* fué colectado unos 45 kilómetros de distancia del sitio de colecta del holotipo de *Tityus mongei* Lourenço, 1996, especie que colocamos en el presente trabajo en sinonimia bajo *T. cerroazul*. Ambos sitios de colecta forman parte de la cordillera central del istmo de Panamá y no existe barrera geográfica que separe sus poblaciones. El sitio donde se colectó al holotipo de *T. mongei* (Río Llano Sucio, Provincia Colón) en el año 1971 ha sido posteriormente drásticamente urbanizado, sus áreas naturales degradadas y fumigadas, y actualmente no nos ha sido posible encontrar alacranes en ese sitio.

Tityus mongei presenta las siguientes características en común con *T. cerroazul*, que sirven de base para ser colocada en sinonimia:

1. Fuerte dilatación de la lámina basal intermedia del peine de las hembras (tanto adultas como juveniles; dilatación ausente en machos);
2. Coloración que varía desde amarillo-rojizo a marrón rojizo, con cuatro delgadas bandas longitudinales más oscuras en el mesosoma;
3. 16-16 hileras transversas de gránulos en dedos movibles del pedipalpo (15-15 hileras en el holotipo de *T. cerroazul*, pero 11 individuos examinados tienen 16-16 hileras);
4. 18-19 dientes pectinales (16 a 19 dientes pectinales en 11 individuos examinados);
5. Manchas oscuras difusas, con zonas circulares más claras en la base de los tricobotrios.

La coloración de *Tityus cerroazul* es muy distintiva y permite reconocer fácilmente a ésta especie por su marcado contraste con dos especies negruzcas, que son relativamente comunes en Panamá: *T. pachyurus* Pocock y *T. asthenes* Pocock.

DESCRIPCIONES

MACHO (Figs. 2, 4-7): fragmentado con machete al colectarse, 78 mm largo total.

COLORACIÓN: predominantemente amarillo-rojiza. Márgen anterior del carapacho marrón oscuro, mancha negra rodeando ojos medios. Palpos amarillo-rojizo, con dedos más oscuros, casi negros, puntas amarillas. Sólo se observan maculaciones difusas en la patela del pedipalpo.

MESOSOMA: con cuatro bandas longitudinales marrón oscuro (dos a cada lado y las dos mesales separadas por angosta banda amarilla de quillas longitudinales medias de tergitos). Vientre amarillo. Patas: amarillas, sin maculaciones. Metasoma: segmentos I al III amarillo-rojizo, segmentos IV, V y telson marrón-rojizo.

CARAPACHO: 8.0 mm largo, 5.5 mm márgen anterior; quillas débilmente granuladas; márgen anterior, cavidad media poco profunda frente a ojos medios.

PEDIPALPO (Fig. 4): 9.7 mm largo dedo móvil; 5.4 mm ancho tibia; 5.6 mm alto tibia; dedos móviles, 16-16 hileras transversas oblicuas de gránulos; número de quillas: cinco en fémur; siete en patela; nueve en tibia, muy débiles. Al comparar la quela del macho con la de la hembra, la mano se presenta marcadamente más inflada que en la hembra y los dedos del macho son más gruesos y cortos en proporción a la mano.

MESOSOMA: tergitos escasamente granulados, con gránulos finos; quilla media débilmente desarrollada en tergitos I y II, moderadamente desarrollada en tergitos III al VII; tergito VII pentacarinado. Opérculo genital longitudinalmente dividido.

PEINES (Fig. 2): 18-18 dientes; lamela basal no dilatada; esternito VII tetracarinado.

METASOMA (Figs. 5, 7): segmento I, 6.4 mm largo, 5.5 mm ancho; segmento V, 11.1 mm largo, 6.4 mm ancho, 5.6 mm alto; segmentos I al IV con quillas dorso-laterales y supramediales débilmente crenuladas. Quilla lateral inframedial: completa en segmento I, fuertemente crenulada; en segmento II, representada solamente por tres gránulos distales; ausente en segmentos III y IV. Quillas ventro-laterales y ventrales submediales, fuertemente crenuladas en todos los segmentos. Segmento V: quillas dorso-laterales moderadamente desarrolladas; quillas latero-mediales vestigiales; quilla ventro-medial y ventro-laterales moderadamente crenuladas.

Espacio entre quillas escasamente granulado, casi liso.

TELSON (Fig. 5): 4.8 mm ancho, 4.2 mm alto; moderadamente granulado en superficie ventral; superficie dorsal es lisa. Aculeo moderadamente curvo. Tubérculo subaculear corto y grueso.

HEMBRA (Figs. 1, 3, 8, 9): 70 a 76 mm de largo. Los dedos del pedipalpo de la hembra (Fig. 3) al ser comparados con los del macho (Fig. 4), son distintivamente más largos y delgados en proporción a la longitud de la mano (casi el doble de la longitud de la mano). La mano de la hembra se presenta menos inflada que en el macho.

JUVENIL (Fig. 10): Los cinco juveniles examinados presentan las bandas longitudinales oscuras del mesosoma bien definidas. Además, presentan una banda oscura marginal longitudinal delgada a cada lado del carapacho, bandas que no se observan en los adultos. Las maculaciones oscuras en las patas y en los pedipalpos están bien marcadas, pero no son discernibles en la mayoría de los adultos.

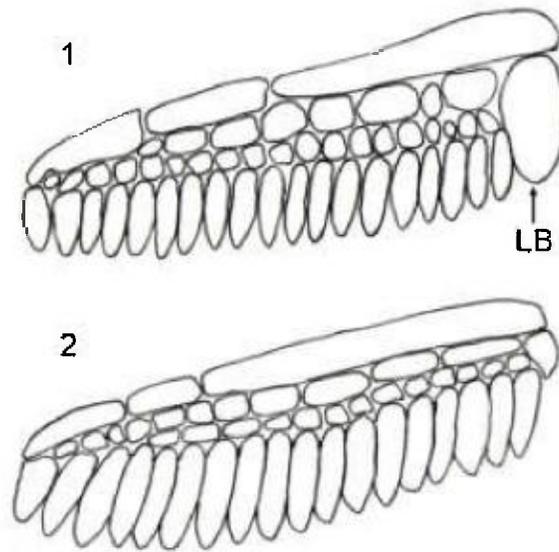


Fig. 1-2. *Tityus cerroazul*: 1. Peines de hembra, vista ventral. LB, lámina basal intermedia. 2. Peines de macho, vista ventral.

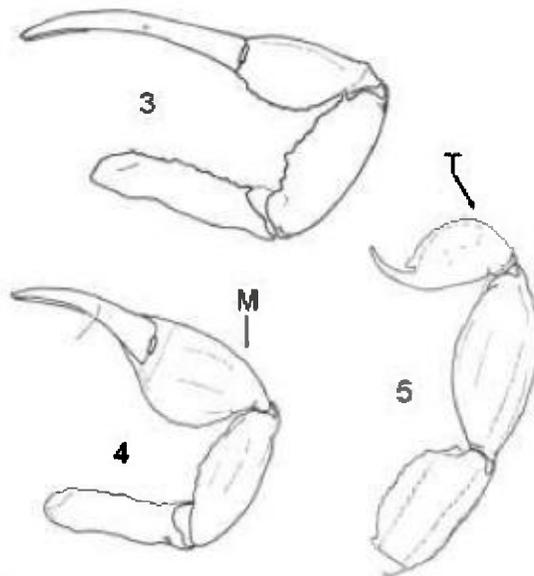


Fig. 3-5. *Tityus cerroazul*: 3. Fémur, patela y mano (quela), pedipalpo de hembra, vista ventral. 4. Fémur, patela y mano (quela), pedipalpo del macho, vista ventral. M, mano. 5. Cuarto y quinto segmento metasomal y telson, macho. T, telson.



Fig. 6-10. *Tityus cerroazul*: 6. Macho, Refugio Los Pinos, Parque Nacional Altos de Campana, Provincia Panamá. 7. Vista lateral del metasoma y telson, macho. 8. Hembra viva, Parque Nacional Altos de Campana, Provincia Panamá. 9. Hembra, carretera hacia Coclesito, Provincia Coclé. 10. Juvenil vivo, vista dorsal, Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, Provincia Coclé.

MATERIAL EXAMINADO

PANAMÁ. Campana, 25 jun 1983, 1 juvenil, Lorena Bruña; Parque Nacional Altos de Campana (PNAC), Refugio Los Pinos, 12 jun 1999, 1 ♂, Lesbia De Gracia; PNAC, , 26 jul 2007, 3 ♀* sendero Podocarpus, 1 ♀* sendero Panamá, Roberto Miranda, Roberto Cambra.

COCLÉ: on road to Coclesito, under log in forest, N. Penonomé 25 jul 1978, 1 ♀ (sin pedipalpo izquierdo), 1 juvenil, Kathy Bub. Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, 800 m.s.n.m., 11 jun 2007, causó muerte a Carlos Pérez, 1 ♂ subadulto; Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, 18 jun 2007, 2 ♀, Georgina Sánchez; Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, 800 m.s.n.m., 23 jun 2007, 1 juvenil*, Roberto Cambra; Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, 9-13 jul 2007, 1 ♀, 1 ♂ subadulto, 2 juveniles, Georgina Sánchez [* se mantienen vivos en el LAV].

DISTRIBUCIÓN

T. cerroazul se conoce de la localidad tipo y sitios asociados con la cordillera central de Panamá en las Provincias de Colón, Coclé y Panamá (Fig. 14). Dos giras se hicieron para reconocer al Este de la Cordillera Central cuáles son los límites de distribución de *T. cerroazul*: Cerro Brewster; Estación Burbayar, Provincia Panamá y Estación Nusagandi, Comarca San Blas. No se encontró *T. cerroazul* en ninguno de estos tres sitios. Tampoco se ha colectado *T. cerroazul* en el Parque Nacional Darién (Estación Rancho Frio en Cerro Pirre, 8° 02'52"N, 77° 43'21"O, 80 m.s.n.m.), donde se han llevado a cabo colectas irregularmente durante los últimos siete años.

VARIABILIDAD

La coloración de los individuos es variable: en el macho y en tres hembras, los tres segmentos distales del metasoma presentan una coloración más oscura que el resto, marrón rojizo. En una hembra y en todos los juveniles examinados, todos los segmentos del metasoma son uniformemente del mismo color. En la mayoría de las hembras la coloración es marrón y las bandas longitudinales oscuras del mesosoma son poco discernibles; pero una hembra (Fig. 9) presenta una coloración general amarillo-rojizo. Todos los individuos presentan las puntas de los dedos en los pedipalpos amarillas, y el tubérculo

subaculear robusto (corto y carece de un ápice agudo). Un macho subadulto (Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle, Coclé) presenta 21-21 dientes pectinales, en los demás individuos examinados el número de dientes pectinales varía de 16 a 19.

HISTORIA NATURAL

En la mismas áreas donde se han colectado individuos de *Tityus cerroazul* se ha colectado *T. pachyurus*, especie que presenta una distribución geográfica mucho más amplia y sospechamos posee una mayor adaptabilidad a habitats modificados que *T. cerroazul*. Sin embargo, las tres siguientes colectas indican que *T. cerroazul*, al igual que *T. pachyurus* y otras especies del género *Tityus*, son alacranes oportunistas que también pueden invadir residencias humanas y causar muerte por su picadura, como lo indica la fatalidad que discutimos separadamente:

*Un macho adulto de *T. cerroazul* fue colectado entre las 10 AM y 12 M dentro del Refugio Los Pinos, Parque Nacional Altos de Campana, Provincia Panamá, en pared de bloques de cemento no repellados;

*Una hembra adulta de *T. cerroazul* fue colectada a las 5 AM en el piso del baño de la casa de la Señora Georgina Sánchez de Mendoza, Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle, Provincia Coclé;

*Un juvenil de *T. cerroazul* (Fig. 10) se encontró a la 1 PM escondido en un bloque de cemento (Fig. 12), parte de unos 20 bloques apilados junto a la pared externa de la vivienda del Señor Carlos Pérez, en Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle, Coclé, vivienda donde fue picado fatalmente uno de sus hijos.

La mayoría de las colectas de especímenes de *Tityus cerroazul* se han hecho en dos sitios de la Cordillera Central de Panamá: Parque Nacional Altos de Campana y en Quebrada Amarilla, El Valle de Antón. Hembras adultas de *T. cerroazul* fueron colectadas en troncos caídos sobre el suelo, entre *Selaginella* y hojarasca (Fig. 11), en pequeños parches de bosque húmedo premontano, a unos 700 m.s.n.m. en el Parque Nacional Altos de Campana, Provincia de Panamá. Dos de éstas hembras presentan dilatación en el mesosoma que sugiere puedan estar grávidas y se mantienen vivas. En el Parque Nacional

Altos de Campana, individuos de *T. cerroazul* no se observaron activos entre las 3:30 a las 7:00 PM, estaban ocultos; después de las 7:30 PM salieron de sus escondites y se colectaron. A las 9:30 PM se observó y fotografió una hembra comiendo una larva de Elateridae (Coleoptera) encima del tronco de un árbol, aproximadamente a 1.8 m del suelo, en Sendero Panamá, 26 julio 2007 (Fig. 13). Algunos individuos colectados asumen rigidez catatónica dentro de las jarras de colecta, aparentando estar muertos.



Fig. 11-13. Habitats de *Tityus cerroazul*: 11.Vista de troncos caidos y *Selaginella* creciendo sobre suelo, Sendero Podocarpus, Parque Nacional Altos de Campana, Provincia de Panamá. Dos hembras fueron capturadas en este sitio. 12. Pared externa de casa donde murió niño picado por *Tityus cerroazul*, donde se almacenaban unos 20 bloques de cemento. Se señala uno de esos bloques, donde se encontró un juvenil de *T. cerroazul* (Fig.10).13. Hembra comiendo larva de Elateridae (Coleoptera) en tronco de árbol, Sendero Panamá, Parque Nacional Altos de Campana, Provincia Panamá, 26 julio 2007, 9:30 PM.

PICADURA MORTAL DE *Tityus cerroazul*

El niño Carlos Ediel Pérez Sánchez, de 6 años de edad, fue picado en un dedo del pie, al caminar descalzo en el portal de su casa a las 7 PM del 11 de junio 2007, en Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, Provincia de Coclé. El niño murió como consecuencia del envenenamiento por la picada. Los padres colectaron al alacrán que picó al niño, un macho subadulto de *Tityus cerroazul*, y el Dr. Humberto Durán, Hospital de Especialidades Pediátricas de la Caja de Seguro Social, depositó al espécimen en el LAV para su identificación. Este es el primer caso confirmado de picadura mortal por *Tityus cerroazul*.

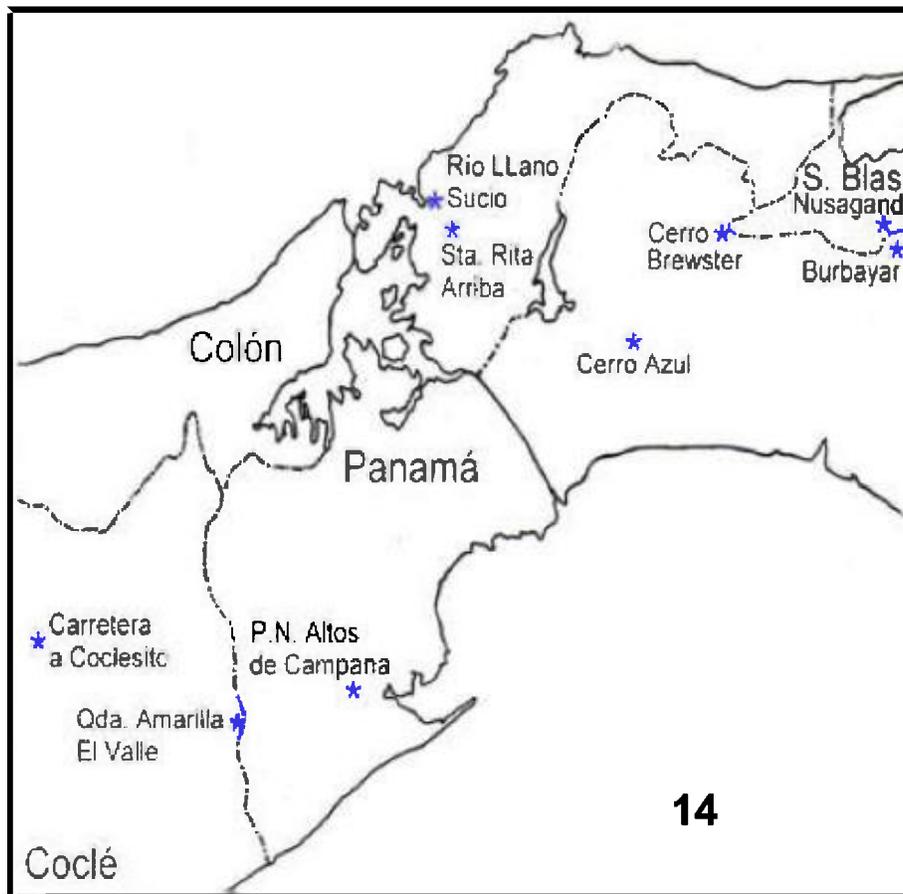


Fig.14. Sitios de colecta en República de Panamá: Provincias de Coclé, Colón, Panamá y Comarca de San Blas.

COMENTARIOS SOBRE EL GRUPO *bahiensis*

Tityus cerroazul pertenece al grupo *bahiensis*, grupo que incluye 71 especie nominales (Lourenço, 2006). El grupo *bahiensis* se distribuye en América desde el norte de Chile hasta Panamá, con ocho especies presentes en las islas del Caribe. El límite norte de distribución del grupo *bahiensis* en la parte continental de América lo representa *T. cerroazul* Lourenço, 1986, especie endémica de Panamá. Según Lourenço (2006 y en numerosas publicaciones anteriores), las hembras del grupo *bahiensis* raramente presentan la lámina basal intermedia dilatada en los peines. Sin embargo, en la región norte de distribución del grupo *bahiensis*, hemos reconocido que las hembras de la mayoría de las especies asignadas al grupo *bahiensis* presentan dilatación de la lámina basal intermedia, como lo demuestran las siguientes cifras (algunas especies del grupo *bahiensis* se conocen solamente por machos, por lo que no es posible calcular cifras más exactas):

*en la única especie del grupo *bahiensis* presente en Panamá, *T. cerroazul*,

*en cinco de ocho especies presentes en el Caribe y

*el grupo *bahiensis* presenta 9 especies en Colombia (Lourenço & Flórez, 1990, Lourenço & Otero Patiño, 1998), de las cuáles un 60% presentan ésta dilatación.

Proponemos que éste grupo de especies, cuyas hembras presentan dilatación en la lámina basal intermedia de los peines, debería separarse del grupo *bahiensis*, como un grupo aparte. A éste grupo le llamaremos grupo *bolivianus*, siguiendo a Mello-Leitão (1945), teniendo como especie tipo a *Tityus bolivianus* Kraepelin, 1895, reconociendo que su composición de especies es diferente a la postulada inicialmente por Mello-Leitão (1945).

REFERENCIAS

Francke, O. F. & D. Quintero A. 1984. Origen y Distribución de la Escorpiofauna de Panamá. Biogeography Mesoamerican Symposium, 27 octubre 1984, Mérida, Yucatán, México.

Lourenço, W. R. 1986. *Tityus cerroazul*, nouvelle espèce de Scorpion de Panama (Scorpiones, Buthidae). Bulletin de Muséum National d'Histoire Naturelle, sec- A, 8 (3):637-641.

Lourenço, W. R. 1996. Additions to the scorpion fauna of Panama and Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 44 (1): 177-181.

Lourenço, W. R. 2006. Nouvelle proposition de découpage sous-générique de genre *Tityus* C.L. Koch, 1836 (Scorpiones, Buthidae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 39: 55-67.

Lourenço, W. R. & E. Flórez. 1990. Scorpions (Chelicerata) de Colombie. III. The scorpion fauna of the Pacific Region (Choco), with some biogeographic considerations. *Amazoniana* 11(2): 119-134.

Lourenço, W. R. & E. Méndez. 1984. Inventario preliminar sobre la fauna de escorpiones de Panamá, con algunas consideraciones taxonómicas y biogeográficas. *Revista de Biología Tropical* 32 (1):85-93.

Lourenço, W. R. & R. Otero Patiño. 1998. *Tityus antioquiensis* sp.n., a new species of scorpion from the Department Antioquia, Central Cordillera of Colombia (Scorpiones, Buthidae), with a checklist and key for the Colombian species of the genus. *Entomologische Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum Hamburg* 12(158): 297-307.

Mello-Leitão, C. 1945. Escorpiões Sul-Americanos. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro* 40: 1-168.

Quintero A., D. 2005. Inventario preliminar y notas sobre la biología de los arácnidos (Arachnida: Scorpiones, Amblypygi y Araneae) de Bahía Honda (Veraguas, Panamá). Pp. 363-491. En: Castroviejo, S. & A. Ibáñez (eds.). *Estudio sobre la biodiversidad de la región de Bahía Honda (Veraguas, Panamá)*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá, en particular a la Dra. Betty Ann Rowe de Catsambanis y al Dr. Juan Antonio Gómez, por brindarnos su apoyo y gestionar los fondos para financiar las investigaciones sobre los alacranes de Panamá. Agradecemos a la

Señora Georgina Sánchez de Mendoza, abuela del difunto niño Carlos Ediel Pérez Sánchez, por su excelente trabajo de recolección de alacranes (¡con un alicate!) en Quebrada Amarilla, La Mesa del Valle de Antón, y por la ayuda que nos brindó su extensa familia. Especial agradecimiento a dos miembros del MIUP, Profesor Roberto A. Cambra T. y a Alonso Santos Murgas, fotógrafo oficial del grupo quien preparó todas las ilustraciones del presente trabajo, por brindarnos gran ayuda en el trabajo de campo y por sus valiosos comentarios para mejorar el presente manuscrito. A los Profesores Lesbia De Gracia y Jacobo Araúz, por información sobre el Parque Nacional Altos de Campana. Al Señor Iñaki Ruiz Osaba, gerente de la Estación Burbayar, por ofrecer precio especial a R.M. durante su estadía y brindarle todo tipo de apoyo en el trabajo de campo.

Recibido agosto de 2007, aceptado agosto de 2007.



LA RESERVA FORESTAL FORTUNA Y LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN GENERAL

Jacobo Aratú G.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología

Departamento de Zoología, Escuela de Biología.

E-mail: jacoboarauz@cwpanama.net

RESUMEN

Existen múltiples fuentes de presión que amenazan la biodiversidad a nivel mundial, situación que ha provocado una crisis de tal magnitud, que pone en riesgo la continuidad de nuestra propia especie. Una solución parcial a este problema lo constituyen los sistemas de áreas protegidas, que a nivel mundial están representados por unas 100.000, y que en conjunto abarcan el 12 % del planeta. En la actualidad, Panamá posee más de 60 áreas protegidas, que entre sus objetivos principales está la de servir como reservorios de la diversidad biológica que aún le resta al país. La Reserva Forestal Fortuna, ubicada en las tierras altas de Chiriquí, es uno de los espacios naturales del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) que contribuye en las iniciativas nacionales y regionales que buscan la conservación y manejo de los recursos naturales, lo que al final se traduce en beneficios, tanto para humanos, como para el resto de los organismos vivos.

PALABRAS CLAVES

Reserva Forestal Fortuna, áreas protegidas, Bosques Húmedos de Talamanca, biodiversidad, ecorregiones.

ABSTRACT

There are several sources of stress that threaten the biodiversity on a global scale, situation that has caused a crisis of such magnitude, that our own species survival is at risk. A partial solution to this problem is the protected area systems, represented by 100,000 sites around the world and which altogether make up 12% of the planet. Currently, Panama has more than 60 protected areas and one of the goals of these

protected areas is to serve as reservoirs of the country's biodiversity. Fortuna's Forestry Reserve, located in the highlands of the Chiriquí province, is one of the sites of the National System of Protected Areas (SINAP the Spanish acronym). This site contributes to the national and regional initiatives pursuing conservation and natural resource management. In the end, these initiatives translate in benefits both for humans and the rest of the organisms on Earth.

KEYWORDS

Fortuna's Forestry Reserve, protected areas, Talamancan humid forests, biodiversity, ecoregions.

BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS

Actualmente, es de gran preocupación la disminución acelerada de la diversidad biológica, un fenómeno que ocurre a escala mundial. Un gran número de especies de plantas, animales y ecosistemas están en riesgo de perderse de forma permanente de la faz de la Tierra, por lo que hay diversas iniciativas que buscan afanosamente disminuir en lo posible los efectos de este problema. En el caso de los países Neotropicales, uno de los principales indicadores de cuanto se afecta el patrimonio natural terrestre está en función de la pérdida de cobertura boscosa (*e.g.* Myers, 1986; Sayer & Whitmore, 1990; INRENARE, 1995). Una medida para proteger, conservar y manejar la diversidad biológica en los diferentes países ha sido el establecimiento de áreas o espacios protegidos, esfuerzo que para el año 2004 lograba unas 100,000 unidades de conservación en el mundo y que cubrían cerca del 12% de la superficie del planeta (Rodríguez, 2004). En Panamá el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) comprende unas 65 áreas, que en conjunto suman cerca de 2,600,018 ha, lo que representa cerca del 34.5% del territorio nacional (ANAM, 2006).

Las tierras altas occidentales en las provincias de Bocas del Toro y Chiriquí se caracterizan por una diversidad biológica rica y única, atributo que ha sido destacado por diferentes autores (*e.g.* Adames, 1997; Angehr, 2003; CBM, 2003; Aparicio *et al.*, 2006). Es tal la importancia de esta zona para nuestro patrimonio natural que hasta el momento se han declarado varias áreas protegidas que procuran garantizar la permanencia de esos recursos en la región. En la zona se han declarado el Parque Internacional La Amistad (sector Panamá), el Parque Nacional Volcán Barú, la Reserva Forestal Fortuna, el

Humedal Lagunas de Volcán y el Bosque Protector Palo Seco, que en conjunto abarcan unas 365,000.5 ha.

La Reserva Forestal Fortuna (RFF) contiene muestras representativas de la biodiversidad de la región, aspecto que ha sido destacado en diferentes aportes de la comunidad científica (e.g. Díaz, 1996; Adames, 1997; Tejera, 2001; Angehr, 2003; CBM, 2003; Mendieta, 2005b, 2006; Garcés, 2007). Sin embargo, la RFF cumple otras funciones menos conocidas, ya que en conjunto con las otras áreas protegidas desempeña una función más abarcadora e integral para la conservación de la biodiversidad. Desde esta perspectiva, el objetivo de este escrito es resaltar algunas acciones de conservación donde la RFF juega un papel fundamental que contribuye a salvaguardar la biodiversidad nacional y regional.

LA RESERVA FORESTAL FORTUNA

Dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, la Reserva Forestal Fortuna es una de las nueve áreas bajo esta categoría y comprende unas 19,500 ha, ubicadas en la porción panameña de la Cordillera de Talamanca (ANAM, 2006). Sobre las características de la RFF, Díaz (1996) señala que comprende altitudes que van desde los 1,000 a los 2,238 msnm en el Cerro Chorcha, el punto más alto. Añade este autor que en Fortuna ocurre una discontinuidad altitudinal que ha sido señalada como el límite entre la Cordillera de Talamanca y la Serranía de Tabasará. Este aislamiento en cuanto a la altura entre ambos sistemas montañosos sugiere que puede influir sobre la distribución de algunas especies. Por ejemplo, los colibríes estrella centelleante (*Selasphorus scintilla*) se encuentran al Oeste del área de Fortuna, mientras que la estrella garganta ardiente (*Selasphorus ardens*) se encuentra al Este de la reserva, una a cada lado del bajón altitudinal antes mencionado.

De acuerdo a Díaz (1996) el área se encuentra en la zona de convergencia intertropical y esta bajo los efectos de los vientos alisios del Caribe, que cargados de humedad depositan el agua en forma de lluvias, alcanzando anualmente hasta los 8000 mm de precipitación, para luego disminuir drásticamente hasta los 4000 mm a medida que se aleja de la división continental. El área permanece nublada casi todo el año, con excepción de los meses menos lluviosos, cuando soplan

vientos fuertes. La temperatura media anual oscila entre los 16 y 20 °C, pero en las madrugadas puede llegar a los 10 °C y a 27 °C después del medio día.

En la RFF se han identificado tres zonas de vida, de las cuales el Bosque Pluvial Premontano es la mejor representada, seguida del Bosque Pluvial Montano Bajo y una pequeña porción de Bosque muy Húmedo Premontano (Díaz, 1996). Sobre este tema hay diferentes opiniones y algunos autores señalan una o dos zonas de vida, posiblemente destacando las que abarcan la mayor parte de la reserva (e.g. CBM, 2003; Mendieta, 2005a). En la actualidad, la reserva esta cubierta principalmente por bosques, pero existen también ecosistemas acuáticos, herbazales, cultivos y pastizales, que en términos generales son menos abundantes (CBM, 2003).

La riqueza biológica de la RFF ha sido tema de varios trabajos que tratan sobre diferentes grupos de organismos (e.g. Díaz, 1996; Adames, 1997; Tejera, 2001; Angehr, 2003; CBM, 2003; Mendieta, 2005a, 2005b, 2006; Garcés, 2007). Las plantas vasculares de la RFF se estiman en unas 1,546 especies, que corresponden al 16% de éste grupo de organismos conocidos para Panamá (Mendieta, 2006). De los helechos y aliados se han reconocido unas 217 especies, que constituyen el 23% de las especies conocidas para el país (Mendieta, 2006). Los musgos también están bien representados en la reserva por unas 225 especies, de unas 500 especies conocidas para Panamá (Salazar Allen, 2001). De la zona se conocen unas 201 especies de orquídeas, que comprenden cerca del 20% de las especies del país (Mendieta, 2006).

A pesar de su modesta extensión, la riqueza de especies de fauna de en la RFF también es alta. Tan sólo los vertebrados están representados por un número significativo de especies, entre los cuales sobresalen unas 66 especies de anfibios, 41 de reptiles, 325 aves y 128 especies de mamíferos (Tejera, 2001; CBM, 2003; Garcés, 2007). Cabe señalar que entre éstos animales, muchas especies son consideradas amenazadas y otras son endémicas nacionales y regionales (Young *et al.*, 1999; CBM, 2003; Angehr, 2003).

LA RESERVA FORESTAL FORTUNA EN EL CONTEXTO DE LA CONSERVACIÓN REGIONAL

La RFF juega diversos roles dentro de iniciativas de conservación, tanto a nivel nacional como regional. Por ejemplo, las áreas del SINAP están consideradas en los programas estratégicos de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) (CBM, 2005a). Dentro de estos últimos están el Programa Estratégico para las Áreas Protegidas (PERTAB), el Programa Estratégico para la Conectividad (PERCON-CBM), y el programa de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad (PROMEBIO), entre otros (CBM, 2005a, 2005b).

Fortuna forma parte del área núcleo de la Reserva de la Biosfera La Amistad, sector Panamá, reconocida por la UNESCO en el año 2000, y que se distingue a nivel mundial por una extraordinaria diversidad biológica (CBM, 2003). Las otras áreas protegidas que forman parte de Reserva de la Biósfera son el Parque Internacional La Amistad, el Humedal de Importancia Nacional Lagunas de Volcán, el Parque Nacional Volcán Barú y el Bosque Protector Palo Seco. Tan sólo en este conjunto de áreas se han detectado unas 1,928 especies de plantas, 96 anfibios, 76 especies de reptiles, 400 especies de aves y 128 mamíferos (CBM, 2003).

La conectividad entre áreas silvestres es un aspecto importante en las acciones actuales de conservación, especialmente para especies que requieren hacer grandes desplazamientos dentro de sus hábitos de vida. A ese respecto, la RFF es una zona importante para la mantener la conectividad entre los bosques de tierras altas del extremo occidental y las áreas protegidas ubicadas al este, como el Parque Nacional Santa Fe y el Parque Nacional General de División Omar T. Herrera (El Copé). Entre Santa Fe y Fortuna esta el propuesto corredor local de Desarrollo Sostenible Ngutduoro o de Montaña, que comprende unas 189,290 ha (CBM, 2003; ANAM, 2006). Además, la RFF también forma parte del propuesto Corredor Biológico Altitudinal de Gualaca, que abarca una franja de territorios en Chiriquí, desde el océano Pacífico hasta la cordillera Central (Valdespino & Santamaria, 1999). De igual manera, la ubicación y estado de conservación de Fortuna ha sido considerada en otras iniciativas que toman en cuenta la conectividad para la conservación de especies con desplazamientos altitudinales o que requieren de territorios extensos (*e.g.* Aparicio *et al.*, 2006).

Aun cuando Panamá posee muchas áreas bajo protección y que ocupan una porción significativa del país, las características y funcionamiento de las mismas son muy variables. En ese sentido, el 60% de las áreas protegidas nacionales tienen menos de 20 000 ha, y sus superficies no están totalmente cubiertas por hábitat naturales en la mayoría de los casos. Algunas de estas áreas son islas, en donde quedaron representadas algunas de las características naturales de un paisaje que en el pasado fue extenso y continuo. En consecuencia, los procesos naturales bajo estas condiciones están sujetos, entre otros factores, a la extensión de cada área y a su proximidad a otros hábitat similares. Los fragmentos o “islas” pequeñas son más vulnerables a las perturbaciones naturales y antrópicas, por lo que los procesos ecosistémicos y poblaciones de diferentes especies tienen poca viabilidad en un escenario con tales características (Saunders *et al.*, 1991; Kattan, 2002). Esta es una particularidad que se presenta en la mayoría de los sistemas de áreas protegidas en el mundo.

Ante esta situación, en las últimas décadas las iniciativas a nivel mundial han enfocado sus esfuerzos de conservación a trabajar a escalas geográficas grandes, para lo cual se ha tomado en cuenta unidades ecológicas denominadas ecorregiones y no a límites geopolíticos o áreas pequeñas en particular. Dinerstein *et al.* (1995) definieron una ecorregión como “un área terrestre o acuática relativamente grande que contiene agrupaciones de comunidades naturales geográficamente distintas. Estas comunidades funcionan de manera efectiva, compartiendo la mayoría de sus especies, dinámicas y condiciones ambientales, por lo que se constituyen en unidades de conservación a escala global y continental”. El enfoque ecorregional reconoce que la distribución de muchas especies se asemeja más a las ecorregiones que a límites de países, y son más eficaces para capturar la variación genética y ecológica, tanto de especies, como de ecosistemas.

En Panamá se han identificado siete ecorregiones, y tres incluyen territorios en la región occidental del istmo (CBM, 2003). Las tierras altas, que comprenden a la RFF, forman parte de la ecorregión denominada Bosques Húmedos de Talamanca, que incluye zonas ubicadas en Panamá y Costa Rica. Cabe señalar que de unas 895 ecorregiones identificadas en el mundo, el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF), seleccionó 238 ecorregiones o complejos de

ecorregiones con prioridad de conservación, entre las cuales están los Bosques Húmedos de Talamanca. Las ecorregiones son altamente representativas de los principales hábitat del planeta, especialmente por su "distintividad biológica", lo que significa una gran riqueza de especies, endemismos, rareza de grupos taxonómicos superiores, presencia de fenómenos ecológicos o evolutivos extraordinarios, y la singularidad de los principales tipos de hábitat.

Como se ha señalado, los Bosques Húmedos de Talamanca fue considerada prioritaria en vista de su importancia para la biodiversidad regional. Sin embargo, los procesos ecosistémicos no ocurren de manera aislada y en un esfuerzo de abordar la situación de una manera integral, algunas iniciativas regionales consideraron que para conservar los Bosques Húmedos de Talamanca era necesario incluir las otras ecorregiones directamente relacionadas con ella. Esto dio origen a lo que se denominó el Complejo Ecorregional de Talamanca (CET), una zona que comprende áreas desde Costa Rica hasta Panamá, incluyendo también las ecorregiones de los Bosques Húmedos del Pacífico del Istmo, los Bosques Ístmicos del Atlántico y los complejos de manglares en ambas vertientes (Palminteri *et al.*, 1999). En el CET quedaron incluidas algunas áreas protegidas de Panamá y Costa Rica, entre ellas la RFF.

El CET abarca el gradiente altitudinal más complejo de Mesoamérica, que va desde el nivel del mar hasta los 4,000 m y se estima que puede albergar el 4% de la variedad de especies terrestres existentes del planeta (Palminteri *et al.*, 1999). Como se ha señalado, el principio central que rige esta elección es la representatividad, es decir, la importancia de conservar una muestra plena de los ecosistemas presentes en la zona y asegurar que estén representados en las estrategias de conservación nacionales y regionales.

Para concluir, se puede señalar que la importancia de las áreas protegidas no sólo está en función de su cantidad o de cuanto territorio ocupan en el país. También hay que tomar en cuenta que cada unidad contribuye por separado a cumplir con una serie de objetivos, pero al mismo tiempo, estas unidades en conjunto contribuyen al cumplimiento de objetivos de conservación más abarcadores que pueden aumentar la viabilidad de las acciones de conservación y el manejo de los recursos naturales. En esta línea de trabajo, desde su

creación la RFF ha cumplido diversas funciones. Ha sido un laboratorio de campo para investigadores en diferentes disciplinas y es clave como fuente de agua para la generación de energía eléctrica. Además, sus bosques son garantes para la continuidad de una variedad de procesos ecológicos y sirven de refugio a una diversidad de organismos de gran valor ecológico, biológico y científico, muchos de ellos con potencialidades aun desconocidas en la mayoría de los casos.

REFERENCIAS

Adames, A. 1997. Evaluación ambiental y efectos del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna: Informe final. Revista Lotería. 538 pp.

Angehr, G. 2003. Directorio de áreas importantes para aves en Panamá. Sociedad Audubón de Panamá. BirdLife/ Vogelbescherming Nederland. Imprelibros S.A. Panamá. 342 pp.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2006. Informe: El Sistema Nacional de Áreas Protegidas. ANAM, CBM & CBMAP. 60 pp.

Aparicio, K., I. Candanedo, R. Martínez & F. Delgado. 2006. Sitio La Amistad Panamá: conectando pisos altitudinales mediante corredores biológicos. USAID, Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) & The Nature Conservancy. Panamá. 106 pp.

CBM (Corredor Biológico Mesoamericano). 2003. Caracterización de corredores locales de desarrollo sostenible en el Área Prioritaria de la Región Occidental de Panamá. Serie Técnica 10. CCAD, ANAM, CBM y CBMAP. Managua, Nicaragua. 136 pp.

CBM (Corredor Biológico Mesoamericano). 2005a. Programa Estratégico Regional de trabajo en Áreas Protegidas. EDITARTE. Managua, Nicaragua. 68 pp.

CBM (Corredor Biológico Mesoamericano). 2005b. Programa Estratégico Regional para la Conectividad. EDITARTE. Managua, Nicaragua. 62 pp.

Díaz, L.R. 1996. Fundamentos de gestión ambiental para la Reserva Forestal Fortuna. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Gerencia de Medio Ambiente. 323 pp. + Anexos.

Dinerstein, E., D. Olson, D. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder & G. Ledec. 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial, Washington, D.C. USA. 135 pp.

Garcés, P.A. 2007. Análisis de la avifauna reportada en la reserva forestal del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna, provincia de Chiriquí. *Tecnociencia* 9(1): 133-150.

INRENARE (Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables). 1995. Informe de Cobertura boscosa 1992. INRENARE. 35 pp.

Kattan, G.H. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. pp. 561-590. En M.R. Guariguata & G.H. Kattan (Eds.). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Libro Universitario Regional (LUR), (EULAC-GTZ). Cartago, Costa Rica.

Mendieta, J.A. 2005a. Importancia del bosque para el proyecto hidroeléctrico Fortuna. *Tecnociencia* 7(1): 149-155.

Mendieta, J.A. 2005b. La Reserva Forestal Fortuna y sus numerosas plantas endémicas. *Tecnociencia* 7(2): 179-183.

Mendieta, J.A. 2006. Diversidad de plantas en la Reserva Forestal Fortuna. *Tecnociencia*, edición especial, 8(2): 207-212.

Myers, N. 1986. Tropical deforestation and mega-extinction spasm. Pp. 394-409. En: M. Soulé (Ed.). *Conservation Biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer, MA. USA. 584 pp.

Palminteri, S., G. Powell, A. Fernández & D. Tovar. 1999. Talamancas Montane-Isthmian Pacific Ecoregion-Based conservation plan: Preliminary reconnaissance phase. San José, Costa Rica. 77 pp.

Rodríguez, J. 2004. Una propuesta de armonización y consolidación de las categorías de manejo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Panamá. Tesis para optar al grado de Máster en Espacios Naturales Protegidos. Universidad Autónoma de Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Alcalá, Fundación Fernando González Bernáldez & EUPARC-España. 132 pp + anexos.

Salazar Allen, N. 2001. Las briofitas o musgos de los bosques nubosos. Pp. 81-86. En S. Heckadon-Moreno (Ed.). Panamá: puente biológico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Imprelibros S.A. Colombia. 233 pp.

Saunders, D.A., R.J. Hobbs & C.R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5(1): 18-32.

Sayer, J.A. & T.C. Whitmore. 1990. Tropical moist forest: destruction and species extinction. *Biological Conservation* 55(2): 199-213.

Tejera, V.H. 2001. Contribución al conocimiento de las aves de la Reserva de Fortuna. *Tecnociencia* 3(1): 31-53.

Valdespino, I.A. & D. Santamaria E. (Eds.). 1999. Evaluación Ecológica del propuesto Corredor Biológico Altitudinal de Gualaca, provincia de Chiriquí, República de Panamá. Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON). Editora Sibauste. Panamá. 180 pp. + Apéndices.

Young, B.E., G. Sedaghatkish, E. Roca & Q.D. Fuenmayor. 1999. El estatus de la conservación de la herpetofauna de Panamá: Resumen del Primer Taller Internacional sobre la Herpetofauna de Panamá. The Nature Conservancy y Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON). 40 pp.

Recibido agosto de 2007, aceptado agosto de 2007.