

ISSN 1008-8092



Biología-Química-Física
Matemática-Estadística

TECNOCIENCIA



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



SOLUCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES DEL TIPO PARABÓLICO MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS

Gustavo Jesús Bracho Rodríguez

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

e-mail: gbracho@bol.com.br

RESUMEN

El estudio de las ecuaciones de transporte, particularmente, las ecuaciones diferenciales parciales (EDP) del tipo parabólicas de naturaleza lineal, es tal vez uno de los aspectos más importantes en el campo de la Física – Matemática. Se presenta una comparación de los resultados analíticos con los numéricos mediante la utilización de poderosos métodos de solución numérica escritos en los lenguajes Fortran 90 y C++. La solución analítica al problema planteado es obtenida mediante la utilización de la transformada de Laplace, en vez del método de separación de variables.

PALABRAS CLAVES

Ecuaciones diferenciales parciales, transformada de Laplace, ecuación de conducción del calor, método explícito, método implícito, método de Crank – Nicholson.

ABSTRACT

The study of transport equations, particularly, the differentials parabolic partial equation of lineal nature, is perhaps a highly important aspects in the field of the mathematical physics. A comparison of the analytical results with numerical by means of a the use of powerful methods of numerical solutions appears to a classic problem, as is it the conduction of the heat in materials. If simulations were carried out by means of the elaborations of a program written in the languages Fortran 90 and C++. The analytical solutions to the created problem is obtained by means of the use of Laplace transformed instead of the traditional method of separation of variables.

KEYWORDS

Partials differentials equations, laplace transformation, heat conduction, explicit method, implicit method, Crank-Nicholson method.

INTRODUCCIÓN

Muchos problemas fundamentales en ciencias, ingeniería, y otras áreas como la economía, se describen mediante ecuaciones diferenciales. Estamos concientes que muchos problemas de tecnologías futuras también serán descritos por medio de ecuaciones diferenciales, ya sean ordinarias o parciales. Los problemas físicos han motivado el desarrollo de parte de las matemáticas y esto es especialmente cierto cuando se trata de ecuaciones diferenciales. En Física – Matemática, el estudio de las ecuaciones de transporte, son considerados tres aspectos de fundamental importancia. Son ellos: (Campbell & Haberman 1998).

Proceso de modelado. En este aspecto, los objetos físicos se describen por medio de leyes físicas y formulaciones matemáticas dadas. Debido a que gran grado de las leyes físicas involucran tasas de cambios (transporte de partículas de cualquier naturaleza). Con frecuencia, el lenguaje natural en las ciencias e ingeniería es el de las ecuaciones diferenciales en general.

Análisis. Este aspecto abarca una investigación completa de las EDP y sus soluciones, incluyendo detallados estudios numéricos.

Interpretación. Toda solución numérica, particularmente de una EDP, no completa el proceso global sin la consideración de este aspecto. Es decir, debe darse la interpretación de la solución de la EDP, en el contexto del problema físico general, y debe analizarse más detalladamente sus implicaciones.

En el presente artículo, resultado de un proyecto de investigación, desarrollado por el autor, realiza un abordaje numérico de las ecuaciones de transporte del tipo parabólicos, particularmente aquella que describe la conducción del calor en medios materiales homogéneos, sin hacer énfasis en su rigor matemático. De igual manera, se presenta una discusión de sus resultados tanto analíticos como numéricos, mediante la utilización de poderosas técnicas de solución numéricas de EDP del tipo el parabólico como son, el método

de aproximaciones sucesivas, el método implícito y el método explícito entre otros (Nakamura 1992; Smith 1978; Burden & Faires 1998).

Cuando se tiene una EDP, se intenta obtener cierto tipo de información. Existen cuatro enfoques generales, además de los tres aspectos presentados anteriormente para el adecuado análisis de las EDP; son estos enfoques, el **Cualitativo**, **Numérico**, **Analítico** y **Asintótico** o **Perturbativo** (Campbell & Haberman 1998).

METODOLOGÍA

Una EDP es una ecuación que contiene una función desconocida de una o más variables y sus derivadas parciales respecto a estas variables. La EDP lineal de orden dos en dos variables independientes toma la forma (Spiegel 1979).

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D \frac{\partial u}{\partial x} + Fu = G, \quad (1)$$

donde A, B, \dots, G , pueden depender de x y y pero no de u . Por razón de la naturaleza de las soluciones de la Ec.(1), las EDP se califican frecuentemente como elíptica, parabólica e hiperbólica, según el valor del discriminante $B^2 - 4AC$, es decir (Godunov 1984)

$$\begin{array}{ll} B^2 - 4AC < 0 & \text{EDP del tipo elíptica} \\ B^2 - 4AC = 0 & \text{EDP del tipo parabólica} \\ B^2 - 4AC > 0 & \text{EDP del tipo hiperbólica} \end{array}$$

Las EDP del tipo parabólico se obtienen al investigar fenómenos tales como la conductividad térmica, difusión de partículas, propagación del campo electromagnético en medios conductores (Budak et al., 1984), el movimiento de un líquido viscoso (Fox & McDonald 1983) y el curso de las aguas subterráneas (Franco 1995) entre otros aspectos.

Una de las situaciones clásicas en las que intervienen EDP parabólicas, es en la teoría de conducción del calor.

Para ilustrar nuestra visión, consideremos una barra metálica cuya superficie está aislada. La barra tiene una longitud l y una difusividad κ y está perfectamente aislada lateralmente, de modo que el calor fluye únicamente en la dirección x . Si sus extremos se mantiene a una temperatura $T = 0$, y su temperatura inicial está dada por ejemplo, $u(x,0) = 10\sin(2\pi x) - 6\sin(4\pi x)$, tal como se ilustra en la Fig. 1.

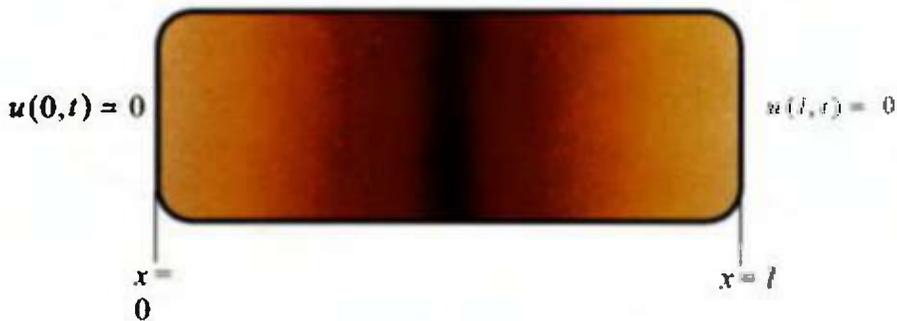


Fig. 1. Condiciones en la frontera para una barra metálica de longitud l .

Si consideramos que la longitud y la difusividad de la barra sean de 3,0 y 4,0 unidades respectivamente, vemos que la ecuación a resolver es la ecuación de conducción del calor.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 4,0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad 0 < x < 3,0, \quad (2)$$

con condiciones en la frontera y cota dadas por Bracho (2003)

$$u(0,t) = u(3,0,t) = 0; \quad u(x,0) = 10\sin(2,0\pi x) - 6,0\sin(4,0\pi x) \quad |u(x,t)| < M$$

Aplicamos el método de la transformada de Laplace (Spiegel 1990), a la Ec.(2) con respecto a t , vemos que

$$\int_0^{\infty} e^{-st} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) dt = \int_0^{\infty} e^{-st} \left(4,0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) dt$$

puede ser escrita como

$$s \int_0^{\infty} e^{-st} u dt - u(x,0) = 4,0 \frac{d^2}{dx^2} \int_0^{\infty} e^{-st} u dt ,$$

es decir

$$sU - u(x,0) = 4,0 \frac{d^2 U}{dx^2} , \quad (3)$$

donde;

$$U = U(x,s) = \mathcal{L}\{u(x,t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} u dt .$$

Al aplicar la condición inicial en la Ec.(3), obtenemos que

$$4,0 \frac{d^2 u}{dx^2} - sU = 10 \sin(2,0\pi x) - 6,0 \sin(4,0\pi x) . \quad (4)$$

Tomando la transformada de Laplace de las condiciones $u(0,t) = u(3,0,t) = 0$, tenemos que

$$\mathcal{L}\{u(0,t)\} = \mathcal{L}\{u(3,0,t)\} = 0 ,$$

Utilizando los métodos usuales para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias (Campbell & Haberman 1998) , vemos que la solución de la Ec.(4) es

$$U(0,s) = \frac{10 \sin(2,0\pi x)}{s + 16\pi^2} - \frac{6,0 \sin(4,0\pi x)}{s + 64\pi^2} .$$

Así, al tomar la inversa de la transformada de Laplace, obtenemos que

$$\begin{aligned}
 u(x,t) &= \mathcal{L}^{-1}\{u(x,s)\} \\
 &= \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{10}{s+16\pi^2}\right\} \sin(2,0\pi x) - \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{6}{s+64\pi^2}\right\} \sin(4,0\pi x) \quad (5) \\
 &= 10e^{-16\pi^2 t} \sin(2,0\pi x) - 6,0e^{-64\pi^2 t} \sin(4,0\pi x)
 \end{aligned}$$

Aunque existen otros métodos para la solución de EDP, como lo son el método de separación de variables y el método de variable compleja; el método de la transformada de Laplace se destaca de los demás por tres aspectos entre otros:

- a) Transforma ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas.
- b) Cualesquiera que sean las condiciones iniciales dadas en el problema, automáticamente se incorporan en el problema algebraico de modo que no se necesita hacer ninguna consideración especial sobre ellas.
- c) Finalmente, el uso de las tablas de transformadas de Laplace pueden reducir el trabajo de obtener soluciones lo mismo que las tablas de integrales reducen el trabajo de integración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al utilizar cualquier método de solución de EDP totalmente diferentes, debemos llegar a los mismos resultados. La Ec.(5), nos muestra la evolución temporal de la temperatura conforme aumenta el tiempo, llevando al sistema al cabo de un tiempo (no muy prolongado) al equilibrio térmico, esto es, a temperatura cero, esta situación es presentada gráficamente en la Fig. 2. Este comportamiento era el de esperarse, dada la dependencia de la solución con el tiempo.

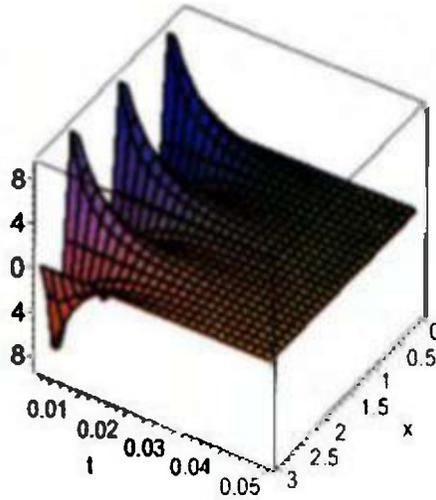


Fig. 2. Comportamiento gráfico de la Ec.(5), referente a la solución del problema con $y. 0 \leq x \leq 3,0$

No obstante, mediante la utilización apropiada de algunos métodos de solución numérica de EDP, particularmente del tipo parabólico, es posible comparar tanto la solución exacta como la numérica con un alto grado de precisión para diferentes parámetros de iteración [Bracho 2003]. El Cuadro 1, nos muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación del Método Explícito (ME) (Nakamura 1992) para las condiciones tanto iniciales como en la frontera planteadas al inicio del problema. Los cálculos numéricos fueron obtenidos mediante la elaboración de un programa ejecutable escrito en lenguajes de alto nivel tanto como Fortran 90 (Ellis et al., 1994) y C++ (Gottfried 1999; Dietel & Dietel 2003).

Cuadro 1. Resultados numéricos obtenidos por el ME (Método Explícito) aplicado a la Ec.(5) con condiciones en la frontera dadas. Los parámetros utilizados fueron, $t_{\max} = 0,050s$, $k = 0,000500$ y $an = 9,90$ respectivamente (Bracho 2003).

Interacción	Númérica (10^{-3})	Exacta (10^{-3})
1	2,451000	2,188970
2	3,965972	3,541225
3	3,965994	3,541225
4	2,451166	1,885970
5	1,023405	1,255160
6	-2,450971	-2,188598
7	-3,965829	-3,541225
8	-3,965852	-3,541224
9	-2,451037	-2,188595
10	0,000000	0,000000

Observando este cuadro vemos una correspondencia relativamente buena entre ambas soluciones, esto es la numérica con la exacta. Esta situación se aprecia mejor en la Fig. 3.

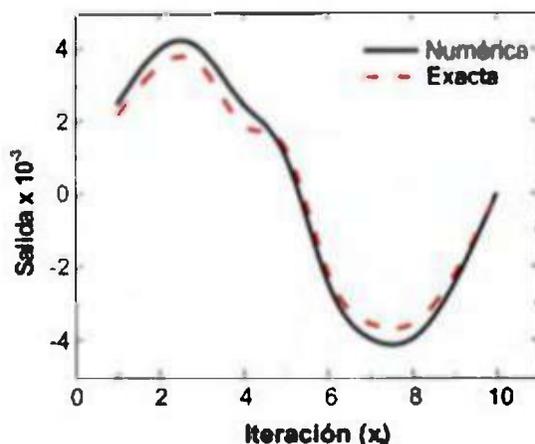


Fig. 3. Comportamiento de la solución numérica con la exacta dada por la Ec.(5), obtenidas por el ME, para la situación en que, $t_{\max} = 0,050s$ Manteniendo k y an constantes.

Entre tanto, al disminuir el tiempo de iteración en t_{max} , manteniendo los demás parámetros constantes, demostramos que tanto la solución numérica como la exacta, se aproximan una de la otra con sorprendente rapidez. En esta situación particular, fue comparada ambas soluciones mediante la aplicación de otros métodos de soluciones de EDP, como los son, el Método Implícito (MI) (con parámetro de peso $w = 1,0$) y el Método de Crank - Nicolson (MCN) (con parámetro de peso $w = 0,50$) respectivamente (Ducheteau & Zachmann 1988). En el Cuadro 2 y la Figura 4, nos ilustran los resultados obtenidos una vez ejecutado el programa. En esta nueva situación, observamos claramente, que la solución numérica se aproxima a la exacta.

Cuadro 2. Resultados numéricos obtenidos por el MI para $w = 1$ y el MCM aplicado, a la Ec.(5) con condiciones en la frontera dadas. Los parámetros utilizados fueron $t_{max} = 0,0010s$, $k = 0,000500$ y $an = 9,90$ respectivamente (Bracho 2003).

Interacción	Solución Numérica		Sol. Exacta
	MI	MCN	
1	0,000000	0,000000	0,000000
2	5,378988	5,430029	5,192573
3	8,543746	8,310381	8,310383
4	5,225266	5,617301	6,695001
5	- 2,121825	- 1,112895	- 1,747332
6	- 7,984964	- 7,087161	- 6,695000
7	- 8,395942	- 8,308293	- 8,310379
8	- 4,809391	- 5,429241	- 5,225822
9	- 1,404453	- 2,002520	- 1,650277
10	0,000000	0,000000	0,000000

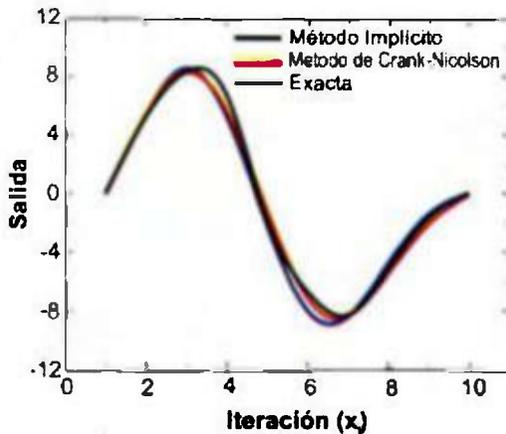


Fig. 4. Gráfico que muestra el comportamiento de la solución numérica con la exacta dada por la Ec.(5), obtenidas tanto por el MI, como por el MCN, para la situación en que $t_{\max} = 0,0010s$, manteniendo k y a_n constantes.

CONCLUSIONES

Al estudiar los métodos de soluciones numéricas de las EDP del tipo parabólicas, vemos que se pueden usar en cierta medida los llamados métodos de diferencias finitas (Nakamura 1992). Estos métodos pueden ser utilizados sin lugar alguna tanto a problemas tanto de una como de dos dimensiones. Tanto los Métodos Explícito, Implícito como el de Crank Nicolson, presentan tasas de convergencia relativamente buenas. Es decir, tal como lo podemos apreciar en las Figs. 3 y 4; conforme el tiempo de cálculo va disminuyendo, mostramos que tanto la solución numérica como la exacta van convergiendo a un mismo valor, indicándonos con esto un comportamiento incondicionalmente estable, presentando prácticamente la superposición de ambos métodos, mostrándonos sin lugar a dudas la altísima estabilidad de ambos métodos.

REFERENCIAS

- Bracho, G. J. 2003. Ecuaciones de Transporte con Valores en la Frontera Aplicadas a la Física. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Universidad de Panamá.
- Budak, B. M., A. A. Samarski & A. N. Tijonov. 1984. Problemas de la Física Matemática. Vol. 2. Editorial Mir. Moscú.
- Burden, R. L. & J. D. Faires. 1998. Análisis Numérico. Sexta Edición. Editorial International Thompson. México.

Campbell, S. L. & R. Haberman. 1998. *Introducción a las Ecuaciones Diferenciales con Problemas de Valor en la Frontera*. Editorial Mc.Graw-Hill. México.

Dietel, H. M. & P. J. Dintel. 2003. *Cómo Programar en C++*. Cuarta Edición. Editorial Pearson Educación. México.

Duchateau, P. & D. W. Zachmann. 1988. *Teoría y Problemas de Ecuaciones Diferenciales Parciales*. Editorial McGraw-Hill. México.

Ellis, T. M. T., I. V. Philips & T. M. Lahey. 1994. *Fortran 90 Programming*. Addison & Wesley. China.

Fox, R. W. & A. T. McDonalds. 1983. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. Segunda Edición. Editorial Interamericana, S. A. México.

Franco, D. P. 1995. *La Exploración del Agua Subterránea. Un Nuevo Enfoque*. Editorial Científico – Técnica. Cuba.

Godunov, S. K. 1984. *Ecuaciones de la Física Matemática*. Segunda Edición. Editorial Mir. Moscú.

Gottfried, B. 1999. *Programación en C*. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. México.

Nakamura, S. 1992. *Métodos Numéricos Aplicados con Software*. Prentice-Hall. México.

Smith, G. D. 1978. *Numerical Solutions of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods*. Segunda Edición. Oxford University Press. New York.

Spiegel, M. 1975. *Matemáticas Superiores para Ingenieros y Científicos*. Editorial McGraw-Hill. Colombia.

_____ 1979. *Teoría y Problemas de Transformada de Laplace*. Editorial McGraw-Hill. Colombia.

Recibido noviembre de 2003, aceptado diciembre de 2004.

COMMUNITY STRUCTURE OF EASTERN PACIFIC REEF FISHES (GULF OF PAPAGAYO, COSTA RICA)

Arturo Dominici-Arosemena¹, Ernesto Bruguoli-Olivera¹, Jorge Cortés-Núñez¹, Helena Molina-Ureña^{2,3} y Marco Quesada-Alpizar¹

¹ Center for Tropical Marine Ecology (ZMT) Fahrenheistrasse 6 28359 Bremen Germany. Email: dominici@zmt-bremen.de

² Sección Limnología Facultad de Ciencias Universidad de la República Oriental del Uruguay Igú 4225 Montevideo, Uruguay.

³ Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) Universidad de Costa Rica San Pedro, San José 2060, Costa Rica.

⁴ MBF-RSMAS University of Miami 4600 Rickenbacker Causeway Miami, Florida 33149.

ABSTRACT

We assessed the relative abundance of reef fishes and its relation with physical parameters and habitat at four sites in Culebra Bay, a human disturbed area in Gulf of Papagayo, Costa Rica (eastern Pacific) from March to October 1997. Based on 64 visual counts, we recorded 75 species of 28 families of reef fishes. Four pomacentrids, two labrids and one haemulid comprised the top seven most abundant species, ranked as follows: *Chromis atrilobata*, *Thalassoma lucayanum*, *Abudefduf roscheilii*, *Haemulon steindachneri*, *Hoplchoeres dispilus*, *Stergaster acapulcoensis*, and *Stergaster flavilatus*. Densities of many of the species varied significantly with variable site depth. Our results reflect higher Beta diversity than other studies, although only 22% of the species were found at all the study sites. The type of substrate, the complexity, and the exposure of the reef may have a strong influence on the distribution of many of the species of reef fishes in the Gulf of Papagayo. Four possible groups of fish species were observed suggesting that spatial patterns were stronger than seasonal trends. The shallowest site was characterized by *Ophioblennius steindachneri*, *Microspathodon bairdii*, *M. dorsalis* and *Abudefduf roscheilii*. An intermediate site with a more heterogeneous substrate, was composed by *S. acapulcoensis*, *Canthigaster punctatissima*, *H. nicholsi*, *H. chierchiaei*, *T. lucayanum*, *Sufflamen verres* and *Serranus pinnatus*. A slightly deeper site than the previous was represented by *H. dispilus*, *Johannsdallia nigrostris*, *Pomacanthus zonipectus*, *Holocentrus passer*, and *S. flavilatus*. Finally the deepest site habitat, had a distinctive assemblage composed by *C. atrilobata*, *Chaetodon*

humeralis, *Diodon holocanthus*, *H. steindachneri*, and *H. maculicauda*. In terms of trophic groups, our results shown trends have more affinities to temperate regions were planktivores and invertebrates feeders are the most abundant than herbivores.

KEYWORDS

Diversity, spatial variation, trophic groups, upwelling, reef fishes.

RESUMEN

Este trabajo investigó sobre la abundancia de peces de arrecifes de coral y su relación con los parámetros físicos así como su hábitat en cuatro sitios en Culebra Bay, un área afectada por actividad humana en el Golfo de Papagayo, Costa Rica (Este del Pacífico), desde marzo a octubre de 1997. Basado en 64 conteos visuales, nosotros registramos 75 especies distribuidas en 28 familias de peces de arrecifes de coral. Las siete especies más abundantes incluyeron cuatro pomacentridos, dos labridos y un haemulido, los cuales se distribuyeron jerárquicamente de la siguiente manera: *Chromis atrilobata*, *Thalassoma lucasanum*, *Abudefduf troschelii*, *Haemulon steindachneri*, *Halichoeres dispilus*, *Stegastes acapulcoensis*, y *Stegastes flavilatus*. Las densidades de distintas especies variaron significativamente de acuerdo a la profundidad. Nuestros resultados reflejan una diversidad Beta bastante alta comparada con otros estudios, aunque solamente el 22% de las especies fueron colectadas con todos los sitios. La distribución de la mayoría de las especies de peces de arrecife de coral fueron afectadas significativamente por el tipo de sustrato, la complejidad y la exposición. El sitio menos profundo se caracteriza por la presencia de *Ophioblennius steindachneri*, *Microspathodon bairdii*, *M. dorsalis* y *Abudefduf troschelii*. Un sitio intermedio (entre aguas profundas y someras) con un sustrato heterogéneo estaba compuesto de: *S. acapulcoensis*, *Canthigaster punctatissima*, *H. nicholsi*, *H. chierchiae*, *T. lucasanum*, *Sufflamen verres* y *Serranus psittacinus*. Un sitio ligeramente profundo que el anterior fue representada por *H. dispilus*, *Johnrandallia nigrirostris*, *Pomacentrus zonipectus*, *Holocentrus paucis*, y *S. flavilatus*. Finalmente el sitio más profundo, tuvo una composición de *C. atrilobata*, *Chaetodon humeralis*, *Diodon holocanthus*, *H. steindachneri*, y *H. maculicauda*. Desde el punto de vista de los grupos tróficos, nuestros resultados demuestran una tendencia hacia regiones templadas con planktivorus y carnívoros de invertebrados, los cuales fueron los más abundantes comparados con los herbívoros.

PALABRAS CLAVES

Diversidad, variación espacial, grupos tróficos, afloramiento, peces de arrecifes de coral.

INTRODUCTION

The interspecific relationships among fishes and their habitat determine important aspects of population cycles, densities, and dynamics (Choat & Bellwood 1991). In reef fishes, abundance, distribution and trophic structure of the community may be influenced by biotic and abiotic factors such as temperature, depth, habitat complexity, currents, availability of larval recruits, and accessibility of food (Gladfelter et al., 1980, Williams 1991, Sale et al., 1994). The central and eastern Pacific ichthyofauna has more affinity with the western Pacific, with a species richness decline from west to east, the Philippines and Malayan archipelago being considered as centers of distribution (Kay 1980, Springer 1982, Woodland 1983, Thresher 1991). The tropical eastern Pacific (TEP) is one of the most isolated areas in the world oceans, and is exposed to extreme changes in temperature, salinity and nutrients (Cortés 1997). The seasonal upwelling characteristic of the region is a consequence of the trade winds, which are more prevalent in the Gulf of Tehuantepec, Gulf of Papagayo and Gulf of Panamá (Cortés 1997, D'Croz & Robertson 1997). Studies on local coral reef fish communities in the TEP are scarce (Guzmán & Robertson 1989, Guzmán & López 1991). There have been some studies of rocky reef fishes from the Gulf of California (e.g. Arburto-Oropeza & Balart 2001, Thomsom & Lehner 1976, Molles 1978, Gilligan 1980, Thomsom & Gilligan 1983) as well as in Gorgona Island, off the Pacific coast of Colombia (Zapata & Morales 1997). The main objective of this paper is to present information on the structure of the reef fish community, its relationship to some physical parameters, in the Gulf of Papagayo, Costa Rica in the tropical eastern Pacific. The study aims at a characterization of fish assemblages (including taxonomical component, abundance and species richness) and the composition in terms of fish trophic groups.

MATERIAL AND METHODS

Study site description

This study was conducted in the Gulf of Papagayo (Fig.1), located at 10°45' N and 85° 45' W in the Pacific coast of Costa Rica. Two areas divided into four study sites were located at the entrance of Culebra Bay: Pelonas Islands (10°35' N and 85°43'W) and Viradores Islands (10°36' N and 85°42'W). "Punta Argentina" (P), "Bajo Virador" (V) and "Cabeza de Mono" (C) were considered shallow sites (8-10 m depth) while "Bajo Sorpresa" (S) was the deep station (~20 m).

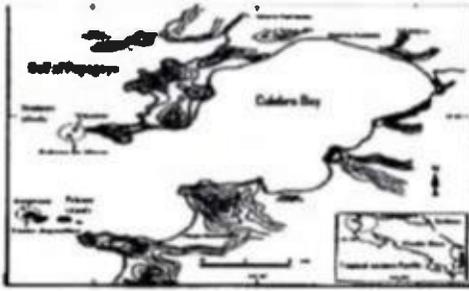


Fig. 1. Study sites in the Gulf of Papagayo, Guanacaste, Costa Rica.

Data collection and analysis

We conducted 64 monthly fish surveys (16 replicates per site with 2 replicates per site/month) between March and October 1997 at four study sites. We recorded the water temperature at the bottom depth, and visibility (horizontal distance of a white acrylic plate). For estimation of substratum we use a sampling unit consisted of a 6-m radius (~ 113 m²). Substrate types were classified on eight categories after Samoily & Carlos (1992), and their corresponding percent cover was estimated at 64 sampling units for the site description. For the relative fish density estimation and fish distribution and identification, we used the point count method adapted from Bohnsack & Bannerot (1986), Samoily & Carlos (1992) and Samoily (1997). We performed a total of 64 counts (16 counts per site from March to October 1997). Correlation analyses of fish densities with substrate coverage were performed on 64 of the samples. Each count takes an average of 50 minutes between 10:00 to 17:00 hours. The densities were calculated as number of individuals (Juvéniles and adults) per square meter (ind*m⁻²). We determined the Shannon-Winner diversity index to compare spatial variation on the different study sites. The non-parametric tests (Kruskal-Wallis) was used to compare, temporal variations of physical conditions (temperature and visibility), and differences in fish diversity and density with a p value of significance of 0.05. An additional Student-Newman-Keuls (SNK) test of multiple-comparisons of means was applied as a post-hoc test (Zar 1996). Relationships among diversity indices, species density and physical

parameters were analyzed with Spearman correlations (Sokal & Rohlf 1980, Zar 1996). Fish and habitat relationships were analyzed with a Canonical Correspondance Analysis (CCA) using MVSP 3.1 software. (Ter Braak & Verdonschot 1995): We adapted a trophic classification of fish species from Ferreira et al. (2001) and Harmelin-Vivien (2002).

RESULTS

Water temperature varied seasonally on all Culebra Bay (Fig. 2) (Kruskal-Wallis, $n=8$, $g=7$, $H=53.34$, $p < 0.001$), between a mean of 24°C (February) and 30°C (July). Temperature, however, was not significantly different among study sites. The lowest visibility occurred in February, March and May; higher values were found from July to October. Visibility showed no significant differences among study sites, but it differed significantly through months (Fig. 2, $n=8$, $df=7$, $H=35.79$, $p < 0.001$).

Site depths ranged from 8 to 20 m. We classified the substrates into medium size rocks, and rock-sand were the main substrate found at the three shallow sites (Bajo Virador, Cabeza de Mono and Punta Argentina), whit live coral colonies of *Pocillopora* spp. Octocoral colonies of *Carijoa* (27.7 %) and the ahermatypic coral *Tubastrea coccinea* (10.3 %) occurred only at the deep site Bajo Sorpresa.

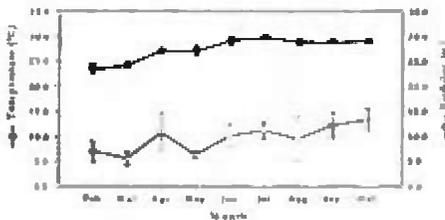


Fig. 2. Variation in temperature and visibility from February to October 1997, Gulf of Papagayo, Guanacaste, Costa Rica.

The Spearman correlation analysis ($p < 0.05$, $n = 187$) showed a positive correlation between temperature and visibility (Fig. 2. $r = 0.55$). The highest fish diversity was found in Cabeza de Mono ($H' = 0.87$) followed by Bajo Virador ($H' = 0.80$), Bajo Sorpresa ($H' = 0.68$) and Punta Argentina ($H' = 0.66$), with significant differences among sites (Kruskal-Wallis, $n = 64$, $df = 3$, $H = 8.25$, $p < 0.04$). There was also a low positive correlation between the Shannon-Wiener index and the percent of coverage of rubble (Table 3). Richness ranged from 6.27 (Cabeza de Mono) to 8.1 (Bajo Virador), with no significant differences among sites. Evenness ranks in the same order as the Shannon-Wiener's diversity index, and also differed significantly among sites ($n = 64$, $df = 3$, $H = 8.79$, $p < 0.03$). There is a positive correlation between evenness and the coverage of medium-sized rocks, substrate that also predominates in Cabeza de Mono (Table 3). The composition of trophic groups seemed to be similar between all sites (Fig. 3) with the majority of fishes being mobile invertebrates feeders and planktivores. All herbivores (roving and territorial) show low percent of occurrence, along with the piscivores and the sessile invertebrate feeders. The carnivores also show a relatively low percent of frequency, however they have the highest number of species.

We found 75 taxa of reef fishes, 70 of which were positively identified to species level, belonging to 28 families (Table 1. cf. Allen & Robertson 1994). In terms of total abundance over all months and sites, four pomacentrids, two labrids and one haemulid comprise the top seven most abundant species their density vary significantly among sites (Table 2). The densities of 6 fish species increased with depth, while other 6 were inversely correlated with this parameter (Table 3). Densities of 11 fish species were positively or negatively correlated to rubble cover, 7 other fishes were positively associated with *Pocillopora* spp., while 11 were with *Carijoa* sp. (Table 3).

In the CCA, the most important habitat variables are represented by arrows and the top 27 most abundant fish species by points in the ordination diagram for the four study sites (Fig. 4.). Both variables account for 65%, 91.7% and 100% for the variance in the weighted average and the sums of eigenvalues being 0.3, 0.1 and 0.04. The axis 1 clearly represents a depth gradient shallow environments on the left side (P, C and V sites) increasing to the right side closer to axis 2 representing deep reefs (S) (Fig. 4).

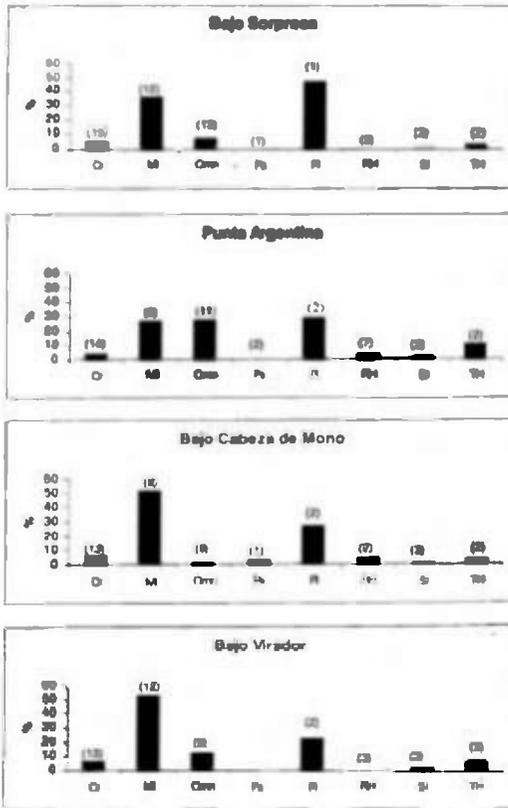


Fig. 3. Percentage of major trophic groups of fishes (from total numbers) within study sites. Number in parenthesis indicate the number of species in each group. Cr=Carnivores, MI=Mobile invertebrate feeders, Omn=omnivores, Ps=Piscivores, Pl=Planktivores, RH=Roving herbivores, SI=Sessile invertebrate feeders, TH=Territorial herbivores.

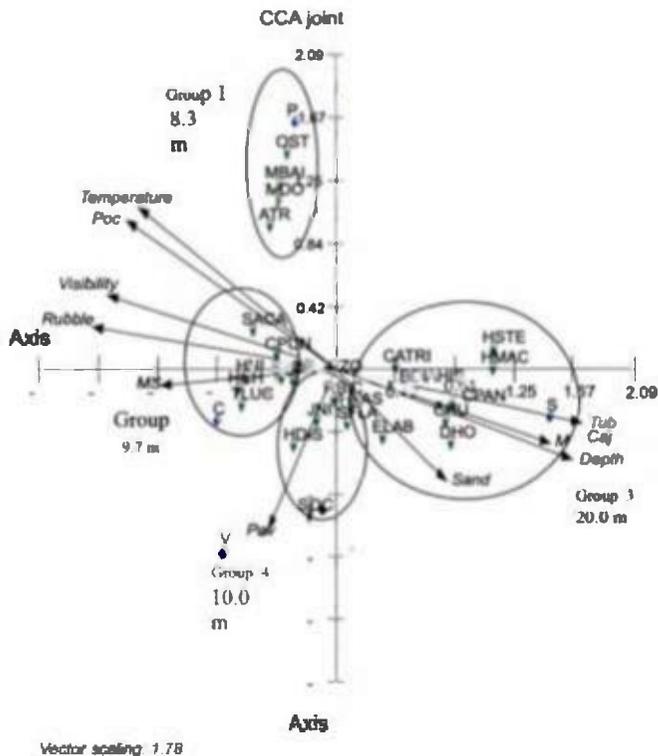


Fig 4 Canonical correspondence analysis (CCA) of fish abundance vs habitat variables obtained from visual point count census and substrate estimation along the study sites in the Gulf of Papagayo, Guanacaste, Costa Rica. (● Sites: C: Cabeza de Mono., P: Punta Argentina., S: Bajo Sorpresa., V: Bajo Virador ; ▼ spp. Fish codes in text. Substrate codes: Caj: *Carijoa* sp. MR: *Massive* rocks., MSR: *Medium size* racks., Pav: *Pavona* spp., Poc: *Pocillopora* spp., Tub: *Tubastrea coccinea*.)

Table 1. List of eastern Pacific fish species found in Culebra Bay, Gulf of Papagayo, Costa Rica in 1997 and reported by Allen & Robertson (1994). Trophic groups: Cr = Carnivore, MI = Mobile invertebrate feeder, Omn = Omnivorous, Ps = Piscivorous, Pl = Planktivorous, RH = Roving herbivore, SI = Sessile invertebrates, TH = Territorial herbivore. Study sites: P = Punta Argentina; S = Bajo Sorpresa; C = Bajo Cabeza de Mono; V = Bajo Virador. Sampling months (March to October 1997): Mar = March, A = April, Ma = May, J = June, Ju = July, Au = August, S = September, O = October. D = Average density (ind m⁻²) SD = standard deviation. + = Important for the ornamental fish trade in Costa Rica (Fournier & Viriola 1994). ** $\alpha < 0.01$ ind m⁻²

Family/Genus	Trophic level	Study site	Months	D ± SD
Ginglymostomatidae				
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	Cr	P	Ju	**
Myliobatidae				
<i>Aeobatus narinari</i>	MI	S	S	**
Muraenidae				
<i>Gymnothorax castaneus</i>	Cr	C	M	**
+ <i>Gymnomuraena zebra</i>	Cr	C	Ju	**
+ <i>Muraena lentiginosa</i>	Cr	S, V, C	M, A, Ma	**
Holocentridae				
<i>Myripristis</i> sp.	Pl	C, P	Ma, O	**
<i>Sergoacentron suborbitalis</i>	Cr	All	A, Ma, J, Ju, Au, S, O	0.01 ± 0.04
Fistulariidae				
<i>Fistularia commersonii</i>	Cr	C, P	M, J, O	**
Serranidae				
<i>Alphistes immaculatus</i>	Cr	P	Au, O	**
<i>Epinephelus acanthistius</i>	Cr	V	Ma, O	**
<i>Epinephelus labriformis</i>	Cr	All	All	**
<i>Cephalopholis panamensis</i>	Cr	All	All	0.01 ± 0.04
<i>Paranthias colonus</i>	Pl	V	M	**
+ <i>Serranus psittacinus</i>	Cr	All	All	0.01 ± 0.02
Grammistidae				
<i>Rypticus bicolor</i>	Cr	S, C, P	Ma, J, Ju, Au, O	**
Malacanthidae				
<i>Malacanthus brevirostris</i>	Cr	V	O	**
Carangidae				
<i>Caranx</i> spp.	Ps	C	M, O	0.02 ± 0.11
<i>Seriola rivoliana</i>	Ps	P, S	A, Ma, Au	**
Lutjanidae				
<i>Lutjanus argentiventris</i>	Cr	V, S	J, O	**
Haemulidae				
+ <i>Anisostremus taeniatus</i>	MI	S	Ju, S, O	**

<i>Haemulon</i> sp. 1	MI	S	J, O	0.07±0.55
<i>Haemulon flavigratum</i>	MI	S	J, S, O	**
<i>Haemulon maculicauda</i>	MI	C, S, P	M, A, J, S, O	0.07±0.27
<i>Haemulon scudderii</i>	MI	S	M	**
<i>Haemulon steindachneri</i>	MI	S, V, P	M, Ma, Au, O, S	0.12±0.58
<i>Haemulon sexfasciatum</i>	MI	S	A	**
Sciaenidae				
<i>Odonotiscion xanthops</i>	Cr	S	S	**
+ <i>Pareques viola</i>	Cr	S	M, Au	**
Kyphosidae				
<i>Kyphosus analostanus</i>	Omn	P	J, S, O	**
<i>Kyphosus elegans</i>	Omn	S	A, J	**
<i>Sectator ocyurus</i>	Omn	S, V	M, A, M, J, Ju	**
Ephippidae				
<i>Ephippidae</i> sp. 1	Omn	S	O	**
<i>Chaetodipterus zonatus</i>	Omn	S	M	0.01±0.08
Chaetodontidae				
<i>Chaetodon humeralis</i>	SI	All	All	0.01±0.01
<i>Johannaltilia nigrirostris</i>	SI	All	All	0.01±0.03
Pomacanthidae				
+ <i>Holocentrus passer</i>	Omn	All	All	0.01±0.01
+ <i>Pomacanthus zonipectus</i>	Omn	All	All	0.01±0.01
Pomacentridae				
+ <i>Abudefduf troschelii</i>	Omn	C, P, V	All	0.14±0.52
+ <i>Chromis atrilobata</i>	PI	All	All	0.68±1.21
+ <i>Microspathodon dorsalis</i>	TH	P, V, C	M, J, Ju, Au, S, O	0.02±0.7
+ <i>Microspathodon bairdii</i>	TH	P, C	A, Ma, J	**
+ <i>Stegastes acapulcoensis</i>	TH	All	All	0.07±0.09
+ <i>Stegastes flavilatus</i>	TH	All	All	0.05±0.05
Cirrhitidae				
+ <i>Cirrhitus rivulatus</i>	Cr	V, C, P	Ma, Ju, Au, O	**
+ <i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	Cr	P	J	**
Labridae				
+ <i>Bodianus diplotaenia</i>	MI	All	All	0.03±0.03
+ <i>Halichoeres chierchiae</i>	MI	V, C, P	All	0.01±0.01
+ <i>Halichoeres dispilus</i>	MI	All	All	0.08±0.15
<i>Halichoeres melanois</i>	MI	V, C, P	All	**
<i>Halichoeres nicholsi</i>	MI	All	A, Ma, J, Ju, Au, S, O	0.03±0.05
<i>Halichoeres notospilus</i>	MI	C, V	M, Au	**
<i>Novaculichthys taeniourus</i>	MI	V, C, P	M, Au	**
+ <i>Thalassoma lucasanum</i>	MI	All	All	0.43±0.66
<i>Xyrichtys victori</i>	MI	V	O	**
Scaridae				
<i>Nicholsina denticulata</i>	RH	P	Ma, J	**
<i>Scarus</i> sp. 1	RH	V, P	J, S	**

<i>Scarus compressus</i>	RH	C, P	Ju, O	**
<i>Scarus ghobban</i>	RH	P, S, C	Ma, J, Ju, O	**
<i>Scarus perrico</i>	RH	S	Au, O	**
<i>Scarus rubriviolaceus</i>	RH	S	S	**
Blenniidae				
+ <i>Ophioblennius steindachneri</i>	TH	P, C	M, A, Ma, J, O	**
<i>Plagiotremus azoleus</i>	Ps	P	M, A, Ma, J, O	**
Acanthuridae				
<i>Prionurus laticlavus</i>	RH	P, C	A, O	0.03±0.22
Scombridae				
<i>Scomberomorus sierra</i>	Ps	P	O	**
Balistidae				
<i>Balistes polylepis</i>	Omn	P, C	A, J	**
<i>Melichthys niger</i>	Omn	P	A, J	**
<i>Pseudobalistes naufragium</i>	Omn	All	M, A, J, Ju	**
<i>Sufflamen verres</i>	SI	All	All	0.01±0.01
Monacanthidae				
<i>Aluterus scriptus</i>	Omn	S	A, S	**
Ostraciidae				
<i>Ostracion meleagris</i>	Omn	V, S, C	J, A, O	**
Tetraodontidae				
<i>Anothron hispidus</i>	Omn	All	All	**
+ <i>Anothron meleagris</i>	Omn	S, P	A, Ju, Au, O	**
+ <i>Canthigaster punctatissimus</i>	Omn	All	All	0.01±0.01
Diodontidae				
+ <i>Diodon holocanthus</i>	MI	All	All	**
<i>Diodon hystrix</i>	MI	P, V, S	Ma, S, O	**

Table 2. Densities averages individuals (\pm SD) (ind m^{-2}) of the most common species found in Culebra Bay, Pacific coast, Costa Rica, in each reef community. Kruskal Wallis: $n=64$, $df=3$ $p=0.05$. Code: ns = Not significant differences between sites were it was present. A = Species that appear in all the study months; B = Species that appear between 5 to 7 months. ** $\alpha < 0.01$ ind m^{-2}

Species	p value	H value	Bajo Sorpresa	Punta Argentina	Cabeza de Mono	Bajo Virador
<i>C. atrilobata</i>	ns	ns	1.24 \pm 1.65	0.56 \pm 1.08	0.52 \pm 1.13	0.40 \pm 0.70
<i>T. lucayanum</i>	0.01	11.31	0.15 \pm 0.23	0.28 \pm 0.31	0.88 \pm 1.08	0.43 \pm 0.51
<i>A. trevithellii</i>	0.001	17.44	0	0.38 \pm 1.01	0.15 \pm 0.20	0.02 \pm 0.04
<i>H. dipilus</i>	0.01	10.90	0.06 \pm 1.14	0.04 \pm 0.05	0.05 \pm 1.11	0.17 \pm 0.23
<i>S. acapulcensis</i>	0.00	21.12	**	0.11 \pm 0.13	0.09 \pm 0.09	0.06 \pm 0.08
<i>S. fluvialis</i>	0.037	8.47	0.07 \pm 0.06	0.02 \pm 0.02	0.03 \pm 0.03	0.05 \pm 0.07
<i>B. diplicaratus</i>	0.04	7.99	0.06 \pm 0.05	0.02 \pm 0.02	0.02 \pm 0.02	0.02 \pm 0.02
<i>H. passer</i>	0.00	23.84	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.02 \pm 0.02
<i>C. panamensis</i>	0.00	18.78	0.04 \pm 0.09	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01
<i>S. verres</i>	0.05	12.97	**	0.02 \pm 0.1	0.01 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01
<i>P. trispicatus</i>	0.002	14.43	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01
<i>S. psittacus</i>	ns	ns	**	0.01 \pm 0.02	0.01 \pm 0.02	0.02 \pm 0.04
<i>J. nigricaudis</i>	0.036	8.56	0.01 \pm 0.01	**	0.01 \pm 0.02	0.01 \pm 0.02
<i>H. chierchiai</i>	0.012	17.89	0	0.01 \pm 0.01	0.02 \pm 0.02	0.01 \pm 0.01
<i>C. panamensis</i>	ns	ns	**	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	**
<i>C. humeralis</i>	0.00	21.67	0.02 \pm 0.02	**	**	**
<i>E. lobophorus</i>	0.05	12.65	0.01 \pm 0.01	**	**	**
<i>D. holocanthus</i>	0.00	18.03	**	**	**	**
<i>A. hispidus</i>	0.001	15.81	**	**	**	**
<i>H. strindbergieri</i>	ns	ns	0.15 \pm 0.31	0.04 \pm 0.15	0	0.28 \pm 1.10
<i>S. suborbitalis</i>	ns	ns	0.02 \pm 0.06	**	0.01 \pm 0.01	0.02 \pm 0.4
<i>S. acyurus</i>	0.04	7.91	0.01 \pm 0.04	0	0	0.07 \pm 0.05
<i>F. coarctatus</i>	ns	ns	**	**	**	**
<i>D. strindbergieri</i>	0.01	10.7	0	0.01 \pm 0.02	**	0
<i>R. bicolor</i>	ns	ns	**	**	**	0
<i>C. fisselatus</i>	ns	ns	0	**	**	**
<i>M. lemniscatus</i>	ns	ns	0	**	0	0

Table 3. Correlations between species and type of substrate, physical parameters and live coral coverage ($p = 0.05$, $n = 64$, value of $r > 0.24$). Notation: Dp = Depth (m); MR = Massive rock; MSR = Medium size rocks; Rubb = Rubble; Poc = *Pocillopora* spp.; Pav = *Pavona* spp.; Caj = *Carthoa* sp.; Tub = *Tubastrea coarctata*. Numbers in bolds are significant correlations.

	Dp	MR	MSR	Rubb	Sand	Poc	Pav	Caj	Tub
Diversity index (H')	0.07	-0.19	0.19	0.24	0.02	-0.01	0.11	-0.23	-0.13
Species richness	0.05	-0.14	0.17	0.17	0.03	0.04	0.20	0.21	-0.09
Evenness	-0.02	-0.18	0.24	0.18	0.00	-0.04	0.07	-0.17	-0.09
<i>S. suborbitalis</i>	0.01	0.05	0.18	-0.11	-0.06	0.15	0.01	-0.03	0.07
<i>E. lobophora</i>	0.08	0.12	-0.09	-0.33	-0.06	-0.35	0.07	0.43	0.49
<i>F. pennanthes</i>	0.56	0.10	0.28	-0.44	-0.00	-0.31	0.01	0.48	0.32
<i>S. pinnatifida</i>	0.12	0.16	-0.33	0.45	0.18	-0.11	0.07	-0.05	0.17
<i>R. helioides</i>	0.11	-0.00	0.20	-0.14	-0.14	-0.12	-0.07	0.13	0.25
<i>M. maculicincta</i>	0.16	0.12	0.01	-0.23	-0.09	-0.25	-0.07	0.31	0.37
<i>H. tricolor</i>	-0.21	-0.16	-0.37	-0.09	-0.08	-0.15	-0.02	0.20	0.26
<i>H. revoluta</i>	0.15	0.09	-0.13	-0.01	-0.05	0.22	-0.08	0.21	0.34
<i>S. serotina</i>	0.21	-0.09	0.12	-0.07	0.13	-0.28	0.07	0.25	0.21
<i>C. hamata</i>	0.56	0.21	-0.23	-0.05	0.01	-0.52	0.10	0.43	0.43
<i>F. nigrescens</i>	0.13	0.08	-0.21	-0.26	-0.09	0.23	-0.16	0.28	0.32
<i>A. imbricata</i>	-0.33	-0.30	0.29	0.22	-0.04	0.26	-0.17	-0.43	0.03
<i>M. formosa</i>	-0.41	0.04	0.10	-0.20	-0.03	0.48	-0.01	-0.34	-0.10
<i>M. hawaii</i>	-0.16	-0.16	0.33	-0.11	0.20	0.23	-0.07	-0.17	-0.16
<i>S. acroporoides</i>	-0.64	-0.23	0.27	-0.18	0.07	0.24	0.01	-0.33	-0.34
<i>S. fasciata</i>	0.08	0.04	0.04	0.18	-0.09	-0.38	-0.00	0.34	0.08
<i>C. rotundata</i>	-0.16	-0.00	0.22	-0.25	0.08	0.23	-0.07	-0.19	-0.13
<i>B. dybowskii</i>	0.20	0.28	0.16	-0.49	-0.11	-0.34	-0.08	0.27	0.41
<i>B. dybowskii</i>	-0.37	-0.33	0.04	0.24	-0.00	0.39	0.12	-0.45	-0.28

<i>H. chrysivorus</i>	-0.07	0.05	-0.08	0.15	0.13	0.11	0.30	-0.36	-0.30
<i>H. dipetulus</i>	-0.53	-0.30	0.04	0.34	0.23	0.57	0.04	-0.50	-0.28
<i>H. melibellus</i>	-0.33	0.12	0.00	-0.12	-0.05	0.59	-0.01	-0.31	-0.05
<i>T. lucidissimus</i>	0.08	0.20	0.14	0.24	0.04	0.20	0.34	-0.30	-0.39
<i>S. verreauxi</i>	0.43	0.13	-0.21	-0.17	0.06	-0.41	0.05	0.44	0.36
<i>A. fulvipes</i>	0.12	-0.11	-0.20	0.45	0.05	0.04	-0.02	-0.25	-0.01
<i>C. pumilio</i>	0.34	-0.04	-0.09	0.08	0.11	-0.25	0.15	0.20	0.45

Four possible groups of fish species suggesting that each site has its own particular fish assemblage. Punta Argentina (P), the shallowest site, is characterized by *Ophioblennius steindachneri* (OSTE), *Microspathodon bairdii* (MBAI), *Microspathodon dorsalis* (MDOR), and *Abudefduf troschelii* (ATRO). The second assemblage is Cabeza de Mono (C), close to axis 2 and with a more heterogeneous substrate, composed by *Stegastes acapulcoensis* (SACA), *Canthigaster punctatissima* (CPUN), *Halichoeres nicholsi* (HNIC), *Halichoeres chierchiae* (HCHI), *Thalassoma lucasanum* (TLUC), *Sufflamen verres* (SVER), and *Serranus Psittacinus* (SPSI). The third group, composed by *J. nigrirostris* (JNIG), *H. dispilus* (HDIS), *S. ocyurus* (SOCY), *S. flavilatus* (SFLA), *R. bicolor* (RB), *H. passer* (HPAS) and *P. zonipectus* (PZON) is represented by fishes that were more abundant on Bajo Virador, a slightly deeper site with higher coverage of rocky substrate, higher coverage of the scleractinean coral *Pavona* spp and less coverage of the coral *Pocillopora* sp. Site S, the deep habitat, has a distinctive assemblage composed by pomacentrid *Chromis atrilobata* (CATRI), *Chaetodon humeralis* (CHUM), *Diadon holocanthus* (DHOL), *Haemulon steindachneri* (HSTE) and *Haemulon maculicauda* (HMAC), *Bodianus diplotaenia* (BDIP), *Cephalopholis panamensis* (CPAN) This ordination diagram shows a clear pattern of distribution of the reef fishes on a local scale, that give us an idea on the Beta diversity patterns and a composition of fishes in the Gulf of Papagayo.

DISCUSSION

Water temperature and visibility in our study reflect, taking in account only two months of the dry season, the typical seasonal pattern associated with coastal upwelling during the dry months. *Pocillopora* sp. percent cover was higher in shallower waters, concurring with Glynn et al. (1972) and (Coles & Iokiel 1977). On the contrary, the octocoral *Carijoa* spp. and the ahermatypic *Tubastrea coccinea* showed a similar zonation of increased percent cover with depth, as Jiménez 1998 and Yoshioka & Yoshioka 1989 also described.

In Culebra Bay, we found a total of 75 species of reef fishes belonging to 28 families. On the Colombian Pacific coast, Zapata and Morales (1997) found 71 species of 30 families of reef fishes. These two studies suggest a low species number in the eastern Pacific compared to other sites, such as Hawaii (129 spp., Friedlander & Parrish 1998)

and The Red Sea (198 spp., Khalaf & Kochzius 2002). However, in recent surveys conducted at Bahía Honda, a non upwelling area in the Gulf of Chiriquí, Panama, the number of species is higher than the other TEP regions mentioned above (126 spp Dominici-Arosemena & Wolff in prep). Some authors consider that the coral species richness limits the richness of coral reef but there appears to be no strong taxonomic division between many reef and non reef faunas (Robertson 1998, Bellwood 1998; Ferreira et al., 2001). Species composition has been found to vary among differing habitats within a region (Williams 1991, McGehee 1994). In the Gulf of Papagayo, higher diversity and evenness occurred in shallow sites, where medium-sized rocks and *Pocillopora* spp. were more abundant (Fig. 4). It seems that the structure of corals and rocks (complex topography and variable shapes) probably provide shelter and feeding areas (Hixon & Beets 1989). In Gorgona Island on Colombia's Pacific coast, species richness and evenness were lower in the slope of the reef in deeper areas, the strongest contribution to the difference in evenness in the area was given by *Chromis atrilobata* and *Thalassoma lucasanum* (Zapata & Morales 1997). These two species were the same that affected evenness in our study. In Hawaii, fish diversity variables tended to have higher values where reef substratum was more structurally or topographically complex and closer to reef edges (Friedlander & Parrish 1998). Twenty-six species of our study had a significant correlation with at least one given kind of substrate rather than depth even that this last mentioned factor is highly variable in the Tropical Eastern Pacific with tidal ranges of more than 3 meters. In some studies of the Indo-Pacific and in the north of the eastern Pacific, the diversity between habitats (Beta-diversity) is large, indicating that there is a high contribution of the diversity of each one of the habitats to the total diversity (Goldman & Talbot 1976, Gilligan 1980, Sale 1980). In the study at Gorgona Island, Colombia, 60% of the species were found in all areas of the reef and just 11% of the species were found only in four of the studied zones. The authors attribute this low Beta diversity to the structural homogeneity of the reef (Zapata & Morales 1997). Our results show a different situation with diversity and evenness. Only 22.8% of the species were found in all study sites, while many of the species were restricted to a specific reef community. The trophic structure of the fish community here described differs from trends reported in other tropical regions. Our results indicate that mobile invertebrate feeders and planktivorous fishes were consistently more abundant at the study

sites with low relative abundance of territorial and roving herbivores (Fig. 3). If we consider this case, our results shows trends have more affinities to temperate regions were planktivores and invertebrates feeders are the most abundant than herbivores (Floeter et al., 2004): These differences in trophic group proportions probably result from local events (e.g., upwelling, lower temperatures) in the TEP (D'Croz & Robertson 1997). Herbivores (both roving and territorial) are present with very low abundance in TEP when compared to the Tropical western Atlantic and including many Brazilian areas (Ferreira et al., 2004). Given this discrepancy, we question whether the trend toward the use of low-caloric food resources among tropical coral reef fishes, as proposed by Harmelin-Vivien (2002), can be applied to a marginal region like the TEP where the localized upwelling causes dramatic seasonal changes or pulses in water temperature, nutrient contents, and abundances of phytoplankton and zooplankton.

Recent studies show fish associations according to the physical conditions of the area. McGehee (1994) found particular fish organizations in Puerto Rican waters that are similar to our associations in the level of genus. The 4 fish associations of our work are-site specific and show some trophic structure. Even the shallow-water groups from nearby sites had different species assemblages. One was characterized by omnivores and invertebrate feeders, the other with mobile invertebrate feeders (labrids). The Punta Argentina assemblage was mostly composed by territorial herbivores (blennids and pomacentrids), while the deep assemblage was represented by invertebrate feeders.

The Gulf of Papagayo is of high economic and social importance for the local coastal communities. Due to its easy access, the area is exposed to exploitation by artisan, commercial, and ornamental fisheries (Fournier & Vitola 1994, Gutiérrez 1994). Some studies have evaluated the negative effect of extractive activities in detriment of the tourism industry (Ibarra 1996).

Dominici-Arosemena et al., 2001 report that the ornamental trade may have an effect on all the reef fish community. In species like *T. lucasanum*, where colored terminal phases are heavily extracted, the absence of terminal males triggers the sex transformation of females into terminal phase males. Some studies suggest the need of a follow-up research for developing and management plans on the Gulf of

Papagayo based on marine protected areas, zoning for controlled use and levels of exploitation is recommended (Dominici-Arosemena 1999).

REFERENCES

Allen, G. & R.D. Robertson. 1994. Fishes from the Tropical Eastern Pacific. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 332 p.

Arburto-Oropeza, O., & E. Balart. 2001. Community structure of reef fish in several habitats of a rocky reef in the Gulf of California. *Marine Ecology* 22(4):283-305.

Bellwood, D.R. 1998. What are reef fishes?-Comment on the report by D.R. Robertson: Do coral reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure? (*Coral Reef* 17: 179-186). *Coral Reef* 17: 187-189.

Bohnsack, J.A. & S.P. Bannerot. 1986. A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes. Dept. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 41: 1-15.

Choat, J.H. & Bellwood, D.R. 1991. Reef fishes: Their history and evolution: 39-68. *In*: Sale, P.F. (ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reef*. Academic Press, London.

Coles, S.L. & P.L. Jokiel. 1977. Effects of temperature on photosynthesis and respiration in hermatypic corals. *Mar. Biol.* 43: 209-216.

Cortés, J. 1997. Biology and geology of eastern Pacific coral reef. *Coral Reefs* 16: S39-S46.

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

Dominici-Arosemena, A. 1999. Estructura poblacional de los peces de arrecifes del Golfo de Papagayo. Guanacaste, Costa Rica, con énfasis en las especies de mayor importancia comercial como ornamentales. M. Sc. thesis, Univ. Costa Rica, San Pedro. 208 p.

Dominici-Arosemena, A., H. Molina-Ureña, J. Cortés-Núñez & E. Brugnoli-Olivera. 2001. Population structure of the Cortez Rainbow wrasse (*Thalassoma lucasanum*) in an exploited area in the Pacific coast of Costa Rica. Abst. 2nd Int. Conf. Mar. Ornamentals. Lake Buena Vista, Florida: 161-16.

Ferreira, C. E. L., S. R. Floeter, J. L. Gasparini, J. C. Joyeux & B. P. Ferreira. 2004. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. *Journal of Biogeography* 31: 1093-1106.

Ferreira, C.E. L., J.E. A. Gonçalves & R. Coutinho. 2001. Community structure of fishes and habitat complexity in a tropical rocky shore. *Env. Biol. Fish.* 61: 353-369.

Ferreira, B.P., M. Maida & A.E. Teixeira De Sousa. 1995. Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré Pernambuco. *Bol. Tec. Cient. CEPENE* 3: 211-230.

Floeter, S.R., C.E.L. Ferreira, A. Dominici-Arosemena & I. Zalmon, 2004. Latitudinal gradients in Atlantic reef fish communities: trophic structure and spatial use patterns. *Journal of Fish Biology* Vol 64:1-20.

Fournier, M.L. & M. Vitola. 1994. La explotación de peces ornamentales marinos en Costa Rica. Informe presentado a solicitud de la Presidencia Ejecutiva del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), Costa Rica. 24 p.

Friedlander, A.M. & J.D. Parrish. 1998. Habitat characteristics affecting fish assemblages on a Hawaiian coral reef. *J. Exp. Mar. Biol. and Ecol.* 224: 1-30.

Gilligan, M.R. 1980. Beta diversity of a Gulf of California rocky-shore fish community. *Env.Biol. Fish.* 5: 109-116.

Gladfelter, W.B., J.C. Odgen & E.H. Gladfelter. 1980. Similarity and diversity among coral reef fish communities: A comparison between Tropical Western Atlantic (Virgin Islands) and Tropical Central Pacific (Marshall Islands) patch reefs. *Ecology* 61: 1156-1168.

Glynn, P.W., R.H. Stewart & J.E. McCosker. 1972. Pacific coral reefs of Panama, structure, distribution and predators. *Geol. Rundschau*. 61: 483-519.

Goldman, B. & F.H. Talbot. 1976. Aspects of the ecology of the coral reef fishes: 125-154. In: Jones, O.A. & R. Endean, R.(eds.), *Biology and Geology of Coral Reefs*. Vol 3 Biology Part 2 Academic Press, New York.

Gutiérrez, R. 1994. Peces ornamentales de Guanacaste. In-forme Técnico. Dirección General de Guanacaste. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), Costa Rica. 63pp.

Guzmán, H.M. & J.D. López. 1991. Diet of the corallivorous pufferfish *Arothron meleagris* (Pisces: Tetraodontidae) at Gorgona Island, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 39: 203-206.

Guzmán, H.M. & D.R. Robertson. 1989. Population and feeding responses of the corallivorous pufferfish *Arothron meleagris* to coral mortality in the eastern Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55: 121-131.

Harmelin-Vivien, M.L. 2002. Energetics and fish diversity on coral reefs: 265-274. In: Sale, P.F. (ed.), *Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, San Diego.

Hessen, D.O., B. A. Faafeng & T. Andersen. 1995. Replacement of herbivore zooplankton species along gradients of ecosystem productivity and fish predation pressure. *Can J Fish Aquat Sci* 52(4): 733-742.

Hixon, M.A. & J.P. Beets. 1993. Predation, prey refuges and the structure of coral reef fish assemblages. *Ecol. Monogr.* 63: 77-101.

Ibarra, E. 1996. El valor del uso del paisaje submarino en el Golfo de Papagayo. Thesis, Fac. Ciencias Económicas, Univ. Costa Rica, San Pedro 120 p.

Jackson, J.B., M.X. Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlanson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kidwell, C.B. Lange, H.S. Lenihan, J.M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner & R.R. Warner.

2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629-638.

Jiménez, C.E. 1998. Arrecifes y comunidades coralinas de Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (Golfo de Papagayo). M.Sc. Thesis, Univ. Costa Rica, San Pedro. 218 p.

Jones, R.S. 1968. Ecological relationships in Hawaiian and Johnston Islands Acanthuridae (surgeonfishes). *Micronesica* 4: 309-361.

Kay, E.A. 1980. Little worlds of the Pacific, an essay of Pacific Basin biogeography. Univ. Hawaii, Harold L. Lyon Arbor. Lect. 9: 1-40.

Khalaf, M. & M. Kochzius. 2002. Community structure and biogeography of shore fishes in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Helgol. Mar. Res.* 55:252-284.

McGehee, M.A. 1994. Correspondence between assemblages of coral reef fishes and gradients of water motion, depth, and substrate size of Puerto Rico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 105: 243-255.

Molles, M.C., Jr. 1978. Fish species diversity on model and natural reef patches: Experimental insular biogeography. *Ecol. Monogr.* 48: 289-305.

O'Connor, N.A., 1991. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia* 85, 504-512.

Robertson, D.R. 1998. Do coral-reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure? *Coral Reefs* 17: 1-8.

Sale, P.F. 1980. Assemblages of fish on patch reefs - predictable or unpredictable? *Env. Biol. Fishes* 5: 243-249.

Sale, P.F. 1991. Reef fish communities: open non-equilibrial systems: 564-598. In: Sale, P.F. (ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, San Diego.

Sale, P.F., W.A. Douglas & P.J. Doherty. 1984. Choice of microhabitats by coral reef fishes at settlement. *Coral Reefs* 3: 91-99.

Sale, P.F., J.A. Guy & W.J. Steel 1994. Ecological structure of assemblages of coral reef fishes on isolated patch reefs. *Oecologia* 98: 83-99.

Samoilys, M. 1997. Underwater visual census surveys: 16-29. In: Samoilys, M. (ed). *Manual for Assessing Fish Stocks on Pacific Coral Reefs*. Department of Primary Industries, Queensland.

Samoilys, M. & G. Carlos. 1992. Development of an underwater visual census method for assessing shallow water reef fish stocks in the Southwest Pacific. Cairns, Queensland Dept. Primary Industries, Northern Fisheries Center: 100 p.

Sokal, R.R. & F.G. Rohlf. 1980. *Biometry*. Freeman Inc, San Francisco. 776 p. Springer, V.G. 1982. Pacific plate biogeography, with special references to shorefishes. *Smith. Contrib. Zool.* 367: 1-182.

Ter Braak, C.J.F. & Verdonschot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquat. Sci.* 57: 255-289.

Thresher, R.E. 1991. Geographic variability in the ecology of coral reef fishes: Evidence, evolution and possible implications: 401-436. In: Sale, P.F. (ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, San Diego.

Williams, D.McB. 1991. Patterns and processes in the distribution of coral reef fishes: 437-474. In: Sale, P.F. (ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, San Diego.

Woodland, D.J. 1983. Zoogeography of the Siganidae (Pisces): An interpretation of distribution and richness patterns. *Bull. Mar. Sci.* 33: 713-717.

Yoshioka, P. & B. Yoshioka. 1989. Effects of wave energy, topographic relief and sediment transport on the distribution of shallow water gorgonians of Puerto Rico. *Coral Reefs* 8: 145-152.

Zapata, F.A. & A. Morales. 1997. Spatial and temporal patterns of fish diversity in a coral reef at Gorgona Island, Colombia. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panamá* 1:1029-1034.

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*, 3rd ed. Prentice Hall. New Jersey: 800 p.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was sponsored by the German Academic Exchange Service (DAAD) with cooperation of the Center for Marine Science and Limnology Research of the University of Costa Rica (CIMAR), the Center for Marine Tropical Ecology in the University of Bremen (ZMT), the Costa Rican Tourism Institute (ICT), and for the final preparation of this manuscript the Smithsonian Tropical Research Institute (STRI). Most of the field trips were in cooperation with the tourist dive businesses and fishermen of the Gulf of Papagayo. Thanks to Matthias Wolff for his advice at the ZMT and for the data analyses of this research; Héctor Guzmán, Luis Sierra, Melita Samoilys, Ross Robertson, Carlos L. Ferreira, Sergio Floeter, Beatrice Padovani-Ferreira, Peter Sale, Carlos Jiménez, Carlos Gamboa, Guilherme Vasconcellos, Irving Bethancourt, Nina Kriegish and José Vargas for their advice. Eleazar Rujz, Esteban Estrada and Silvia Solano for their help on the fieldtrips. Carmen Durán, Mery Segura, Ruth Mora (CIMAR), Nedly Zamora and Irena Rusak (DAAD) for administrative support. Ronald Meyer collaborated with the Figures. This paper is dedicated to the memory of Félix Dominici-Arosemena Jr.

Recibido agosto de 2004, aceptado enero de 2005.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANIDACIÓN Y BIOMETRÍA DE HEMBRAS, HUEVOS Y NIDOS EN TORTUGA GOLFINA *Lepidochelys olivacea* (ESCHSCHOLTZ, 1829) EN ISLA DE CAÑAS, PACÍFICO PANAMEÑO

Angel Javier Vega y Yolani Robles

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

e-mail: angeljv@cwpa.net.pa

RESUMEN

Entre abril y diciembre de 2002 se realizó un trabajo de investigación en Isla de Cañas, Pacífico panameño con el objetivo de describir el proceso de anidación y levantar información morfométrica de hembras en anidación, huevos y nidos en *Lepidochelys olivacea*. Para recopilar la información se hicieron recorridos nocturnos en donde se localizaron tortugas en proceso de anidación, a las cuales se le midió la longitud y el ancho del caparazón, se les determinó el número promedio de huevos ovopositados y se obtuvieron las medidas de los nidos, las zonas de la playa donde los confeccionaron, el diámetro y peso de los huevos, así como los tiempos invertidos por la tortuga en el proceso de anidación. Se determinó que la tortuga golfina que llega a la playa de Isla de Cañas mide en promedio 66.9 cm de largo y 70.47 cm de ancho. El proceso de anidación dura, en promedio, 44.6 minutos de los cuales 17.17 minutos lo invierten en excavar cama y nido y 16.2 minutos en ovopositar. Los nidos se excavaron principalmente en la zona alta de la playa, en arena sin vegetación, hasta una profundidad promedio de 40.02 cm, con un diámetro en superficie de 21.49 cm y en el fondo del nido excavaron unas recamaras 3 a 6 cm superiores al diámetro de superficie, en las cuales se depositaron, en promedio, 105.9 huevos, los cuales tuvieron un peso promedio de 32.54 g y un diámetro de 3.75 cm.

PALABRAS CLAVES

Lepidochelys olivacea, Isla de Cañas, morfometría huevos, características de nidos, tiempo de anidación.

ABSTRACT

Between April and December 2002 a research work was made in Cañas Island, on the Pacific Ocean in Panama with the objective of documented several aspects of nesting process and raising a morphometric information about the nesting female, egg and nests in *Lepidochelys olivacea*. Some night trips was made to get this information, some turtle in process of nestling was found. The length and width of the carapace was measured, also the average of eggs which they could lay was determined in the investigation, the size of the nests and the place in the beach where they were made, as soon as the time used by the turtle in the nesting process. These turtle have average size of 66.9 cm of length curved, and 70.47 of width. The nesting process has an average of 44.6 minutes. They retard 17.17 minutes in excavating the bed and nests and 16.2 minutes in laying the eggs. The nests excavate mainly in the upper place of the beach, on sand without vegetation, with deep average of 40.02 cm, and a diameter of 21.49 cm on the surface and in the depth of the nests they excavate some rooms from 3 to 6 cm superior the diameter of the surface in which the turtle lay an average of 105.9 eggs, these have weight average of 32.54 g and diameter of 3.75 cm.

KEYWORDS

Lepidochelys olivacea, Cañas Island, morphometry eggs, characteristic of nests, time of nesting.

INTRODUCCIÓN

Son muchos los factores que están afectando el manejo adecuado de los recursos naturales. En el caso de las tortugas marinas, la destrucción de hábitat, el comercio legal o ilegal de sus huevos y el efecto que sobre las poblaciones adultas tiene la actividad pesquera, son algunos de los que se pueden enumerar (Guagni dei Marcobaldi & Thomé (2000). Según Chacón-Chaverri (1999), en el Caribe costarricense la depredación por recolectores ilegales, la destrucción o modificación de la playa de anidación y la depredación por animales domésticos son algunos de los factores que afectan el proceso de anidación de las tortugas.

Dentro de las alternativas para tratar de mejorar el manejo de la tortuga está el desarrollo de programas de monitoreo que pueden generar bases de datos confiables de tal forma que dicha información permite conocer el estado actual de las poblaciones de tortugas, así como implementar programas de manejos regionales (ANAM 2000).

En Isla de Cañas existe un importante proceso de arribada de tortugas marinas, principalmente de la especie *Lepidochelys olivacea*. En esta isla y con esta especie de tortuga se han realizado proyectos de investigación y manejo de dicho recurso, resaltando por el nivel de participación comunitaria el proyecto: **“Panamá: un estado y comunidad que asumen una responsabilidad compartida”**. En dicho proyecto se recoge toda una experiencia comunitaria en la explotación de los huevos de tortuga y se brindan algunas metodologías de manejo para tratar de mejorar el sistema de anidación (Córdoba 1999).

También es cierto que en este momento los logros de este proyecto se han diluido, pues ni el vivero comunitario queda, por lo que urge, no sólo reiniciar este proceso, si no monitorear, a través de metodologías estandarizadas, el proceso de anidación natural y el proceso de viveros, teniendo como metas convertirlo en un proceso rentable, reproducible, cuantitativamente riguroso y fácilmente comprensible para los grupos que le darán seguimiento (Schroeder & Murphy 2000).

Este trabajo tiene por objetivo describir el proceso de anidación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), así como las características morfométricas de tortugas, nidos y huevos en Isla de Cañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Isla de 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 (Fig. 1). 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).

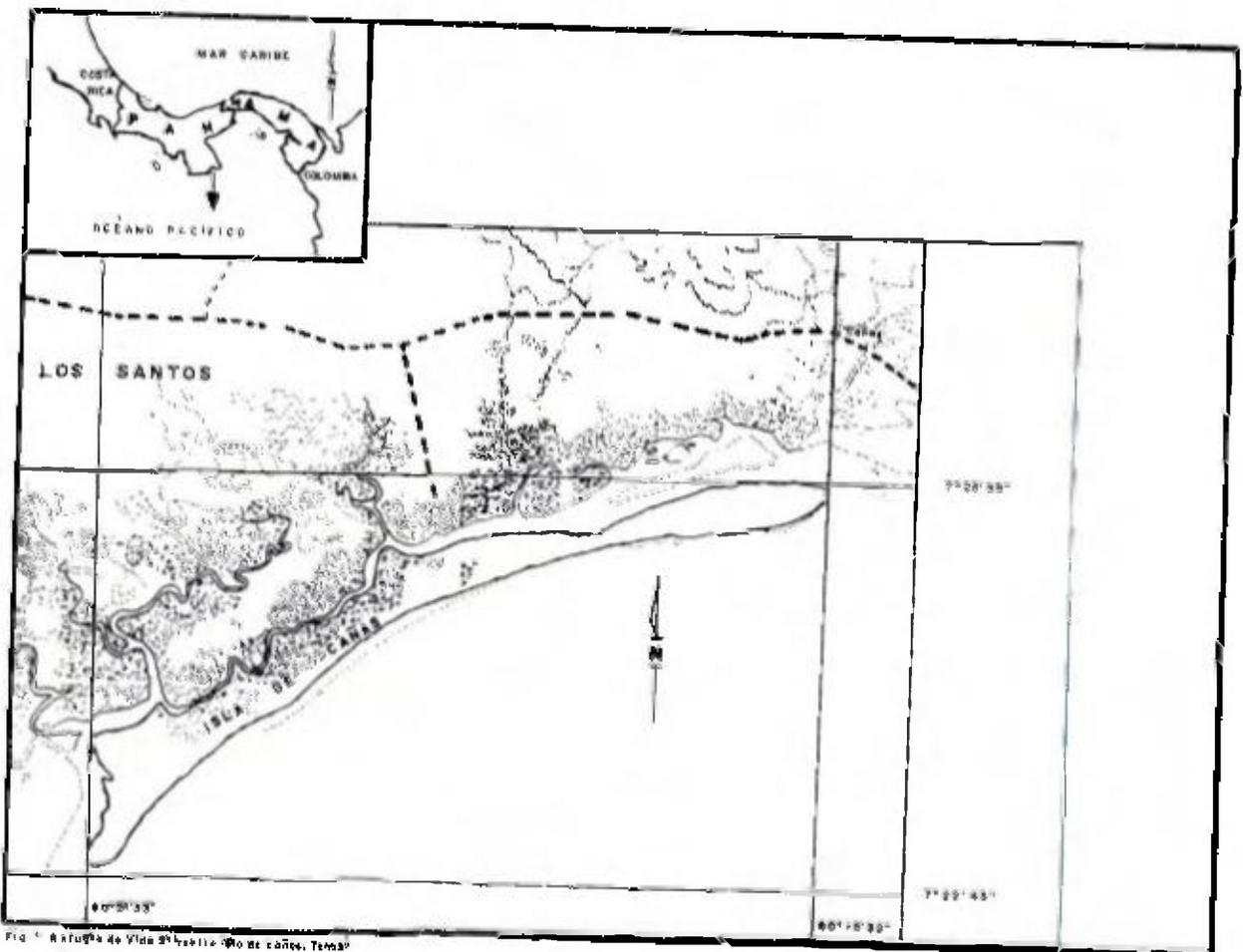


FIG. 1. Área de estudio de la zona de Los Santos, Talamanca.

Entre abril y diciembre de 2002 realizamos una evaluación del estado de manejo de la tortuga golfina en Isla Caña. Como parte de dicha evaluación se generó información sobre las características morfométricas de tortugas, nidos y huevos, así como del proceso de anidación, siguiendo la metodología propuesta por Bolten (2000) y Troeng & Cook (2000).

Recorridos Nocturnos

Los recorridos nocturnos tuvieron por objetivo obtener información biométrica de tortugas, huevos y nidos, así como determinar los sitios de la playa donde la tortuga anida y los tiempos invertidos en las diferentes fases del proceso de anidación. Los mismos se hicieron tres veces por semana, entre las 18:00 y 24:00 horas o entre las 24:00 y las 06: 00 horas, durante la fase de marea baja.

Morfometría de la tortuga (Con base en Bolten 2000)

Durante los recorridos nocturnos se localizaron ejemplares que habían terminado de desovar y se les tomaron las siguientes medidas: Largo curvo del caparazón (cm), ancho curvo del caparazón (cm), ancho de rastro (cm). Las medidas se tomaron en ejemplares a los cuales se les registró las características del nido.

Tiempo invertido en el proceso de anidación

El proceso de anidación se consideró desde el momento en que la tortuga salió del agua hasta que retornó a la misma. Para documentar el proceso se siguió la metodología propuesta por Alvarado & Murphy (2000).

Conteo de huevos

Como los huevos son recogidos por las cuadrillas y ellos llevan un registro de la cantidad de huevos que pone cada tortuga se les pidió el apoyo para recopilar dicha información. Durante los recorridos, si la tortuga se encontró antes de la ovoposición, los huevos se contaron después de depositados en el nido. También se realizaron observaciones sobre la cantidad de huevos fértiles y huevos vanos (estériles), siguiendo el criterio de Miller (2000).

Morfometría de los huevos

Debido a que actualmente todos los nidos son recolectados por los miembros de la cooperativa se coordinó con ellos para que en el centro

de acopio, dos veces por semana, se nos permitiera medir en centímetros y pesar en gramos 100 huevos, asegurándonos de que los huevos medidos y pesados correspondieran a la noche anterior de recolección. Para medir se utilizó un vernier de 0,1 cm precisión y para pesar una balanza de 0,1 g de precisión. Durante los recorridos nocturnos tuvimos la oportunidad de recoger nosotros mismos esta información, para tal efecto se midieron y pesaron 15 huevos por nido. La cantidad de huevos medidos por noche estuvo sujeta a la cantidad de tortugas encontradas en proceso de anidación. Durante todo el periodo de campo se logró analizar un total de 72 nidadas.

RESULTADOS

Recorridos nocturnos

Durante el estudio se observaron 72 tortugas de las cuales 23 se localizaron subiendo la playa, el resto en alguna fase del proceso de anidación. El proceso de excavación de nido se inicia con la localización del área, después de lo cual la tortuga prepara una cama somera e inicia con sus patas traseras la excavación del nido. Se calculó la profundidad y diámetro promedio de 47 nidos, dando como resultado 40.02 cm y 21.49 cm, respectivamente. En el fondo del nido excavan unas recamaras, de tal forma que el diámetro de fondo es superior al de superficie por 3 a 6 cm.

El proceso de desove se inicia al terminar de excavar el nido. Los huevos son depositados individualmente o de manera múltiple. La camada de huevos es depositada en el nido quedando la última capa de huevos, en promedio, a 22.5 cm de la superficie con un ámbito de 19 a 30 cm ($n = 8$). De 72 nidos a los cuales se les pudo contar el número de huevos se estimó que, en promedio, la tortuga deposita 105.9 ± 20.09 huevos por camada.

Selección de área para ovopositar

Para determinar la selección de área por parte de las tortugas se hicieron recorridos durante la mañana para localizar rastros y determinar en que área de la playa excavan sus nidos. En total se localizaron 135 rastros, de este total 43 se localizaron en playa descubierta, muy cerca del borde de vegetación; 71 en el borde de vegetación y 21 dentro de vegetación, pero muy cerca del borde.

Generalmente hacen sus nidos en la sección de la playa que sólo es alcanzada por mareas de gran amplitud.

Durante la investigación se observaron tortugas que iniciaron la fase de excavación de nido y que al encontrarse con raíces que impidieron que continuaran, las mismas abandonaron el proceso y lo reiniciaron en otra parte de la playa. También se observaron tortugas que suspendieron el proceso de ovoposición, retornando al mar y dejando los huevos regados por la playa debido a perturbaciones ocasionadas por visitantes.

Morfometría de las tortugas

De las tortugas observadas se logró tomar las medidas a 66 ejemplares, las cuales aparecen resumidas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Información morfométrica (en centímetros) de *Lepidochelys olivacea* en Isla de Cañas, Pacífico panameño.

	Largo caparazón	Ancho del caparazón	Ancho de rastro
Promedio (x)	66.95	70.47	67.38
Desviación estándar (s)	2.731	2.85	4.28

Tiempo invertido en el proceso de anidación

A partir del 18 de julio se observaron 72 tortugas en proceso de anidación, de las cuales 23 se localizaron saliendo del agua. Debido a la diferencia de amplitud de marea y a que la tortuga sale indistintamente del punto de marea, se consideró obviar los tiempos de ascenso y retorno al mar, pues no tienen un patrón, ni tampoco precisión. Para efecto de la investigación sólo se consideró desde que la tortuga inició el proceso de construcción de cama hasta camuflaje del nido. En este sentido, de las 23 tortugas que se localizaron subiendo la playa, 22 completaron el proceso, invirtiendo en el mismo entre 34 a 66.7 minutos, en promedio 44.6 minutos ($s = 4.20$).

Con relación a las otras fases del proceso 40 observaciones corresponden a la fase de tapar nido, 39 camuflaje, 32 ovopositando,

30 excavando nido y 19 haciendo cama. De los tiempos registrados, la mayor cantidad lo invirtieron en el proceso de excavación de cama y nido (en promedio 17.17, $s = 3.30$, $n = 23$), seguido de ovoposición (en promedio 16.2, $s = 6.03$, $n = 37$). Se decidió unir los tiempos de excavación de cama y de nido, ya que en algunas tortugas no se pudieron diferenciar ambos procesos.

Morfometría de los huevos

Originalmente se planificó realizar mediciones de los huevos en el lugar de acopio. Esto se hizo de manera intermitente, ya que la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) suspendió la compra de huevos a la cooperativa entre el 24 de julio y el 4 de agosto, y entre el 28 de septiembre y 21 de octubre. En la cooperativa se logró pesar y medir 497 huevos obteniendo un promedio en el peso de 32.54 g ($s = 3.29$) y del diámetro de 3.75 cm ($s = 0.14$). Con relación a las mediciones de campo, el peso promedio estuvo en 34.68 g ($s = 2.82$) y el diámetro en 3.76 cm ($s = 0.16$) ($n = 794$).

Probablemente la diferencia en peso entre las mediciones de campo y de sitio de acopio se deba a la precisión del instrumento utilizado, en el caso del sitio de acopio una balanza digital y en el caso del campo una báscula de resorte. De todas las camadas recolectadas sólo se encontraron 10 huevos vanos, de tamaño pequeño y deformes.

DISCUSIÓN

Durante el proceso de anidación, la playa es recorrida por cuadrilleros (recolectores de huevos), en su interés por recolectar los huevos. La actividad que realizan los mismos dificulta el proceso de toma de datos, pues al localizar una tortuga, proceden a abrir un hueco diagonal al nido para extraer los huevos a medida que las tortugas van ovopositando. Para que los huevos no lleguen al fondo del nido le agregan arena disminuyendo su profundidad. En algunos casos destruyen el nido de tal suerte que resulta imposible tomar la información de diámetro y profundidad.

La evaluación del proceso de anidación de la golfina se inició en mayo aumentando en intensidad hasta culminar con las arribadas del 29 de septiembre y 22 de octubre. El proceso en sí inicia con la salida de la tortuga, la cual se desplaza por la playa hasta la parte alta de la misma,

generalmente en el límite donde inicia la vegetación. Esta conducta garantiza que los nidos queden localizados en lugares donde generalmente las mareas tienen poca influencia y donde no exista sombra. Sobre este aspecto, Amorochio (1996), Martínez & Páez (2000), Hinestroza & Páez (2001), todos en el Pacífico colombiano, informan que la tortuga golfina puede alternar anidaciones entre playa descubierta (zona media o de barrido) y borde de vegetación (zona alta de la playa). Esta conducta se explica en función de que son grupos reproductivos diferentes los que anidan cada año. En el caso de Isla de Cañas habría que registrar el área de anidación en años consecutivos para determinar si experimentan la misma conducta documentada para Colombia.

El tiempo de anidación para Isla de Cañas es superior al comunicado para Playa Nancite, Costa Rica, pues Hughes & Richard (1974) informan que la tortuga demora aproximadamente 45 minutos entre la salida del agua y su retorno; en el caso de Isla de Cañas, 44.6 minutos en promedio, pero considerado desde que la tortuga inicia la construcción de la cama hasta que termina la fase de camuflaje.

De las tortugas que se lograron localizar en el proceso de anidación, la de menor tamaño correspondió a 61 cm y la de mayor tamaño a 75 cm de largo curvo del caparazón. En promedio 66.95 cm. Para el pacífico colombiano, Hinestroza & Páez (2001) determinan un largo curvo del caparazón promedio de 66 cm. Por otro lado, Chacón et al. (2001) comunican una longitud promedio en largo recto de 66 cm y un máximo de 72 cm, al igual que Pritchard & Mortimer (2000) quienes confirman el mismo dato. Para Playa Nancite, Costa Rica, Hughes & Richard (1974) determinaron como largo promedio 63.3 cm con un ámbito de 54 a 72 cm. Valor ligeramente inferior al promedio de Isla de Cañas.

La forma y profundidad del nido garantiza estabilidad térmica. La camada de huevos es depositada a 40 cm de profundidad y la última capa de huevos queda por debajo de 20 cm, precisamente, profundidad a partir de la cual se observa una menor variación en la temperatura. (Vega & Robles, en preparación). Contrastando con la profundidad de nido comunicada para Isla de Cañas, Martínez & Páez (2000) informan una profundidad de nido promedio de 60 cm para Playa la Cuevita, Pacífico colombiano. Como se observa, a pesar de que ambas

poblaciones de golfinas tienen un largo curvo del caparazón similar (aproximadamente 66 cm, en promedio), las poblaciones de Playa La Cueva, excavan sus nidos 20 cm más profundos que las de Isla de Cañas.

Con relación a la morfometría de los huevos, de la información recopilada se infiere un promedio del diámetro superior a 3.7 cm, lo cual coincide con lo comunicado por Pritchard & Mortimer (2000), cuyo diámetro promedio lo ubican entre 3.7 y 4.2 cm y Márquez (1996), el cual comunica un diámetro promedio de 3.88 cm. En cuanto al número promedio de huevos desovados por tortuga en Isla de Cañas (105.9 ± 20.09 , $n = 72$) el mismo se ubica dentro de los promedios comunicados por Pritchard & Mortimer (2000), los cuales están entre 105 y 120 huevos, sin embargo Márquez (1996) comunica que en promedio las golfinas ponen 111 huevos por camada. Hinestroza & Martínez (2001) informan que en dos temporadas consecutivas, en promedio depositaron 98 y 102 huevos por camada, valores inferiores al promedio comunicado para Isla de Cañas. Por su parte Hughes & Richard (1974) informan para Playa Nancite, Costa Rica, en 10 nidadas, valores entre 98 y 123 huevos por camada. Con relación al peso de los huevos, Márquez (1996) informa que en promedio los huevos de golfinas pesan 32.4 g peso similar al comunicado por nosotros el cual estuvo entre 31 y 35 g, aproximadamente.

CONCLUSIONES

De manera general, nuestros resultados coinciden con los publicados para esta especie en otras localidades.

Para un largo promedio de 66.95 cm, la tortuga golfinas deposita en promedio 105.9 huevos por camada, con un diámetro 3.75 cm y un peso promedio de 32.54 g.

Los nidos son confeccionados principalmente en el límite superior de la playa, cerca de la vegetación, pero en playa descubierta, hasta una profundidad promedio de 40.02 cm, quedando la última capa de huevos en promedio a 21.49 cm de la superficie.

En promedio el proceso de anidación dura 44.6 minutos, de los cuales el mayor tiempo lo dedican a la excavación de cama y nido y a ovopositar.

REFERENCIAS

Alvarado, J. & M. Murphy. 2000. Periodicidad en la anidación y el comportamiento entre anidaciones. En Eckert et al. (Ed). Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Traducción al español. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE ; 132-136.

Amorocho, D. 1996. Distribución espacial de los nidos de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en playa Larga, el Valle-Choco. CESPEDESIA 21 (68) 179-185.

ANAM. 2000. Plan de acción nacional sobre la diversidad biológica de Panamá. PNUMA/GF/ANAM: 105 págs.

Bolten, A. 2000. Técnicas para la medición de tortugas marinas. En Eckert et al. (Ed). Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Traducción al español. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE . Publicación No 4: 126-131.

Chacón, D. 1999. Anidación de la tortuga *Dermochelys coriacea* (Testudinidae: Dermochelyidae) en la playa Gaadoca, Costa Rica (1990 a 1997). Rev. Biol. Trop. 47(1-2): 225-236.

Chacón, D., N. Valerín, M. V. Cajiao, H. Gamboa & G. Marín. 2001. Manual para mejores prácticas de conservación de las tortugas marinas en centroamérica. II edición. National Fish & Wildlife Foundation e International Found for Animal Welfare. 139 págs.

Córdoba, L.Z. 1999. Panamá: un estado y comunidad que asumen una responsabilidad compartida / Lyneth Zulay Córdoba, Hercilia Moreno. -1ª ed. - San José, Costa Rica. UICN: Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM): 60 p.

Diccionario Geográfico de Panamá. 1974. Editorial Universitaria. 4 tomos.

Guagni dei Marcovaldi, M.A. & J.C.A. Thomé. 2000. Reducción de las amenazas a las tortugas. En Eckert et al. (Ed). Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Traducción al español. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE : 187-191.

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

Hinestroza, L. M. & V. P. Páez. 2001. Anidación y manejo de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en la Playa La Cueva, Bahía Solano, Chocó, Colombia. Cuad. herpetol., 14(2): 131-144.

Hughes, D. A. & J.D. Richard. 1974. The nesting of de Pacific Ridley Turtle *Lepidochelys olivacea* on Playa Nancite, Costa Rica. Marine Biology 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 golfina (*Lepidochelys olivacea*) en la playa de la Cueva, costa Pacífica chocona, Colombia en 1998. Actua. Biol. 22(73): 131-143.

Miller, J. 2000. Determinación del tamaño de nidada y el éxito de eclosión. En Eckert et al. (Ed). Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Traducción al español. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE: 143-149.

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

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

Schroeder, B. & S. Murphy. 2000. Prospecciones poblacionales (terrestres y aéreas) en playas de anidación. En Eckert et al. (Ed).

Técnicas de Conservación y Manejo de las Tortugas Marinas. Traducción al español. UICN/CSE Grupo Especialista en tortugas Marinas, Publicación No 4: 51-63.

Tröeng, S. & G. Cook. 2000. Reporte del programa de tortuga baula 2000 en Tortuguero, Costa Rica. Presentado a Caribbean Conservation Cooperation y Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica. 28 p.

Recibido enero de 2004, aceptado marzo de 2005.



MANEJO DE LA POBLACIÓN DE *Tagosodes orizicolus* (MUIR) (HOMOPTERA: DELPHACIDAE), VECTORA DEL VIRUS DE LA HOJA BLANCA DEL ARROZ "VHBA", POR MEDIO DE PRODUCTOS DE ORIGEN ORGÁNICO Y ALOMONAS

Bruno Zachrisson

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro de Investigación Agropecuaria Oriental (CIAOR), Entomología.
e-mail: bazsalam@sinfo.net

RESUMEN

Tagosodes orizicolus (Muir), mejor conocido como "Sogata" es considerado como un insecto de importancia económica en el cultivo del arroz. Los daños causados por este insecto, pueden ser directo e indirecto, este último por medio de la transmisión de virosis ("Virus de la Hoja Blanca"). Así, en el presente trabajo se evaluaron algunos tratamientos con propiedades repelentes (Biocrack® a 0.50, 1.0 y 1.5 l / Ha y Garlic® 2.0 l / Ha), los cuales se compararon con un testigo comercial (Actara® 100 g i.a. / Ha) y con un testigo absoluto (parcelas sin aplicación de productos). Los resultados obtenidos proporcionaron elementos, que permitieron el establecimiento de una estrategia de manejo, tanto para ninfas como para adultos de la plaga. Los ensayos fueron realizados en parcelas de arroz (Var. IDIAP L-7) en la localidad de Chepo, Panamá. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar, con cuatro (4) repeticiones por tratamiento y el método de muestreo utilizado fue la red de "batida". La frecuencia de muestreo fue de 1, 3, 5, 7, 10, 12 y 15 D.D.A. (Días Después de la Aplicación). El tratamiento más eficiente en el control de ninfas fue Biocrack a 1.5 l / Ha, semejante estadísticamente al Actara® hasta 12 D.D.A. Los tratamientos de Biocrack®, entre 0.5 y 1.5 l / Ha, evidenciaron algún grado de repelencia de adultos de *T. orizicolus*, a pesar de mostrarse eficiente solamente a 1 D.D.A. La metodología, no permitió evaluar el impacto de los tratamientos sobre la entomofauna benéfica.

PALABRAS CLAVES

Insecto-Plaga, Sogata, *Tagosodes orizicolus*, *Oriza sativa*, Manejo Integrado de Plagas (MIP), Parasitoide, Depredadores y Alomonas.

ABSTRACT

Tagosodes orizicolus (Muir), better known as "Sogata" is consider an insect-pest of economical importance in rice crop. The damages caused by this insect, can be direct or mechanical and indirect, trough the transmission of the virus ("Virus de la Hoja Blanca"). Several treatments with repellent properties were evaluated in this article. Three dosages of Biocrack® (0.5, 1.0 and 1.5 l / Ha) and Garlic® at 2.0 l / Ha, were compared with a commercial product as relative control (Actara® 100 g i.a. / Ha), with the objective of provide elements which allow to establish a management strategy for this insect-pest. The field trial was carried out in rice plot (Var. IDIAP L-7) in the region of Chepo, Panama. The experimental design was random block, with four (4) repetitions per treatment and the sample method used was sweeping net. The sampling frequency was 1, 3, 5, 7, 10, 12 and 15 D.A.A. (Days After Applications). The most efficient treatment for the control of nymphs, was Biocrack® at 1.5 l / Ha, statistically similar to Actara® until 12 D.A.A. The Biocrack® treatments between 0.5 and 1.5 l / Ha showed some degree of repellency in *T. orizicolus* adults although showing to be efficient only at 1 D.A.A., due to migratory behavior in adults. The methodology employed, didn't allow evaluating the effect of the treatments in the benefit insects, suggesting trials in controlled conditions.

KEYWORDS

Insect-Pest, Sogata, *Tagosodes orizicolus*, *Oriza sativa*, Integrated Pest Management (IPM), Parasitoids, Predators and Alomonas.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*), es uno de los principales granos básicos para Panamá y el mundo. El área total que ocupada por este cultivo, el capital invertido en la actividad y su importancia en la dieta básica de la población mundial, son elementos que sustentan la importancia del arroz para el país (Purseglove, 1972; Shannon, 1980). Informes del CIAT (1984), sustentan que el 9% del total de calorías de la población latinoamericana, es aportado por este cultivo. La misma fuente (CIAT, 1984), cita que para Panamá el arroz contribuye con el 26% de las calorías consumidas por la población.

A nivel mundial, los insectos-plagas de arroz son responsables por las perdidas de aproximadamente del 12%, considerándose el manejo de

plagas y enfermedades, como una de las principales limitantes para la producción (Pantoja et al., 1997). Por lo que, se destaca la necesidad de desarrollar un programa de investigación en manejo integrado de plagas (MIP), coherente con las necesidades de los productores. De manera, que permita el desarrollo y la implementación de métodos de manejo "No Químicos" (Apple & Smith 1976; Zachrisson 1998). La evaluación constante de nuevos productos (repelentes, inhibidores de la alimentación, alomonas, feromonas, etc.) que reúnan características compatibles con la filosofía de manejo integrado de plagas (MIP), debe considerarse una prioridad en estos programas. El éxito de programas MIP, depende de la compatibilidad de los diferentes métodos de control, de manera que se reduzca la población de la "Plaga-Alvo" por debajo de los niveles de daño económico y se preserve la entomofauna benéfica (parasitoides y depredadores). De esta forma, productos comerciales extraídos de plantas como las "Alomonas", con efecto adverso sobre las plagas, que presenten características de repelencia, inhibición de la alimentación e hiperexcitación, lo colocan en el mercado con ventajas comparativas. Las características presentadas por las "Alomonas", enmarcan a estos productos dentro de las nuevas tendencias de la producción agrícola, como lo es la "Certificación Orgánica" de los cultivos y los "Alimentos Libres de Pesticidas".

Las principales regiones arroceras de Panamá y del continente americano, observan la presencia de *Tagosodes orizicolus* (Muir) (Homoptera: Delphacidae), comúnmente llamada de "Sogata" (Estrada, 1988; King & Saunders 1984; Zachrisson 1991; 1998). El daño mecánico causado por *T. orizicolus*, consiste hacer perforaciones o incisiones en las hojas, para alimentarse u ovipositar. La elevada población de la plaga, incrementa la excreción de "Honey Dew" o "Compuestos Azucarados" sobre el follaje, lo que favorece el crecimiento de "Fumagina", que sirve de medio de cultivo para el hongo *Capnodium*. El incremento de la "Fumagina" reduce la superficie fotosintética de la planta, aspecto que puede afectar significativamente los rendimientos (Pantoja et al., 1989; Pantoja & Hernández 1993). Además del daño mecánico causado por "Sogata", también se observa el daño indirecto producto de la transmisión del "Virus de la Hoja Blanca del Arroz", lo que provoca el vaneamiento

del grano (VHBA) (King & Saunders 1984; Pantoja et al., 1997; Zeigler et al., 1993).

El manejo de la "Sogata" considerado un insecto-vector, sugiere mantener las poblaciones de *T. orizicolus*, en niveles poblacionales inferiores a un (1) insecto por batida de red, lo que mantiene la tasa de infección de la virosis por debajo del 10%. La medida antes citada, se ha implementado en algunas parcelas comerciales del cultivo en la región de Panamá Oeste (Chepo), con resultados exitosos. De manera semejante algunos autores, han estimado que poblaciones de ninfas ó adultos entre 15 y 20 insectos por pase doble de red, puede causar mermas significativas en la producción, producto del daño mecánico en la planta (Vivas 1991). El nivel de daño económico, adoptado para insectos "No Vectores" de virosis en Colombia, en plantas con 1 a 2 hojas, es de 250 insectos por 10 pases dobles de red (Pantoja et al., 1997). El mismo autor sostiene que 400 insectos por 10 pases dobles de red, en plantas que presenten entre 3 a 5 hojas, afectan los rendimientos (Pantoja et al., 1997).

La necesidad de incorporar elementos de innovación y desarrollo, que sustenten los programas de manejo integrado de insectos-plagas en el cultivo del arroz y especialmente el manejo de la población de insectos-vectores de "fitopatógenos", es imperativo. Por lo que, se hace necesario evaluar nuevas alternativas de control "No Químicas", por medio de "Alomonas" o de productos de "Origen Orgánicos" que no afecten el complejo de parasitoides de *T. orizicolus* (Arias et al., 1993). Las propiedades que presentan algunos productos (alomonas) y su compatibilidad con la filosofía MIP, ameritan que estos sean evaluados, lo que motivó la ejecución del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la localidad de Chepo, Panamá; durante los meses de Abril y Mayo, en el año agrícola 2003. El área experimental presentó características que favorecieron el ensayo, como lo es la diversidad de variedades sembradas (IDIAP-38, IDIAP-L7 y CR-1113), en diferentes épocas del año, lo que permitió evaluar el efecto de los tratamientos sobre la población del insecto. Además, la elevada población de la plaga en las parcelas, fue un factor

condicionante para la instalación de los ensayos. La variedad utilizada, en el ensayo fue IDIAP-L7.

El diseño experimental, utilizado fue el de bloques al azar, con cuatro (4) repeticiones por tratamiento, considerándose la batida de red como el método de muestreo de la plaga. El muestreo constó de 20 batidas de red simple y en cada muestreo, se consideraron tanto las ninfas como los adultos. Los ejemplares fueron discriminados, de acuerdo al estadio de desarrollo (ninfas y adultos) para medir el efecto de los análisis estadísticos. La entomofauna benéfica fue cuantificada e identificada a nivel de familia, en los diferentes tratamientos, como complemento a la información suministrada.

Los tratamientos fueron aplicados con una bomba de espalda, con capacidad de siete (7) litros y con presión constante de 60 psi. Las boquillas utilizados fueron del tipo de "Cono", de la serie "X", proporcionando un volumen de 100 litros de agua por hectárea.

Los muestreos se realizaron en el área central de las parcelas experimentales de 50 m² (10 x 5 m), excluyéndose la zona de un (1) metro a partir de los bordes. La migración de adultos provenientes de parcelas colindantes, se evitó instalando las parcelas experimentales a diez (10) metros de distancia entre sí. La definición del área experimental y previamente a la instalación de las parcelas, se realizó la cuantificación de la plaga (pre-conteo), con la intención de confirmar si las poblaciones de ninfas y adultos, se encontraban en niveles elevados. Así, se pudo discriminar la posible diferencia estadística entre los tratamientos.

Los muestreos se realizaron en los siguientes intervalos: 1, 3, 5, 7, 10, 12 y 15 D.D.A. (Días Después de la Aplicación del tratamiento). Los tratamientos aplicados con sus respectivas dosis fueron: Biocrack[®] (0.5, 1.0 y 1.5 l / Ha), Garlic[®] (2 l / Ha) y Actara 25 WG[®] (100 g i.a / Ha) (testigo relativo) y un testigo absoluto (libre de producto). La presencia de ninfas en las parcelas experimentales, indicó que existió la colonización de la plaga, aspecto que favoreció la evaluación de algunas características de los tratamientos, como lo es la fago-inhibición.

Los datos colectados, fueron sometidos al análisis de variancia (ANDEVA), por medio de una prueba de 'F' y posteriormente se aplicó la prueba de "Duncan", al nivel del 5% de probabilidad. Para efecto de los análisis los datos fueron transformados en raíz de $x + 0.5$ y la eficiencia de los tratamientos fue calculada utilizando la fórmula de Abbot (1925).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos que más se destacaron, en el control de las ninfas de *Tagosodes orizicolus* fueron Biocrack® a 1.5 l / Ha y el testigo relativo (producto comercial - Actara 25 WG®) a 100 g i.a. / Ha (Cuadro 1), con un efecto residual semejante, durante 12 D.D.A. El tratamiento de Biocrack a 1.5 l / Ha mantuvo las poblaciones de las ninfas en niveles reducidos, con diferencias significativas en relación a los otros tratamientos, hasta 15 D.D.A. Los resultados demuestran que Biocrack® a 1.5 l / Ha posee mayor eficiencia para el control de ninfas, que para adultos (Cuadro 1 y 2). Así, el tratamiento con Actara 25 WG® a 100 g de i.a. / Ha (Testigo Comercial), demostró ser más eficiente en la reducción de la población de adultos (Cuadro 2), que los tratamientos con Biocrack®, específicamente la dosis de 1.5 l / Ha. No obstante, Biocrack® a 1.5 l / Ha se caracterizó por proteger el cultivo hasta 10 D.D.A., destacando la propiedad repelente de este producto. La diferencia en la acción del Actara 25 WG® (sistémico y de contacto / testigo comercial) y el Biocrack® a 1.5 l / Ha (repelente, fagoinhibidor e hiperexcitación), sustenta la diferencia encontrada en los resultados (Cuadro 2).

El tratamiento con Garlic®, considerado un producto a base de ajo (*Allium sativum*) comparable al Biocrack® (*Allium*), en lo que respecta a la repelencia del insecto, no demostraron resultados satisfactorios para la población de ninfas y de adultos de *T. orizicolus* (Cuadro 1 y 2). La tasa de reducción de la población de adultos de *T. orizicolus* fue elevada (Cuadro 2), solamente en las parcelas en donde se aplicó Biocrack® a 1.5 l / Ha y el insecticida sistémico Actara 25 WG® a 100 g de i.a. / Ha, observando efecto residual de 10 D.D.A. y 12 D.D.A., respectivamente. La migración de los adultos en parcelas colindantes (vecinas), en intervalos de dos y tres días, podría enmascarar los resultados. No obstante, esto es considerado una variable a ser evaluada en este tipo de experimento, debido a la capacidad de

dispersión de los adultos. A la fecha no existe un diseño experimental apropiado, para solucionar este inconveniente. La situación se agrava más cuando se trabaja con productos con propiedades repelentes, en este caso el Garlic[®] y el Biocrack[®].

La población de parasitoides y de depredadores (enemigos naturales), fue reducida posiblemente en función de la metodología utilizada y al horario de muestreo (Cuadro 3). Sin embargo, tanto en el complejo de parasitoides evaluado como en la población de depredadores, no hubo fluctuaciones significativas. La estabilidad de la población de enemigos naturales, observada durante el período del ensayo, sugiere la necesidad de considerar otra metodología, que permita medir el impacto de productos de origen orgánico e insecticidas, sobre estos. En este sentido, no hubo diferencia estadística en la población de enemigos naturales, para los tratamientos evaluados, lo que sustenta lo discutido anteriormente. Este aspecto se confirmó al comparar el efecto de Biocrack[®] a 1.5 l / Ha con el Actara 25 WG[®], en donde ambos se comportaron de manera semejante. La definición de la selectividad de los tratamientos, es difícil de observarse en condiciones de campo, debido a la dispersión del complejo enemigos naturales, como consecuencia del efecto repelente de Biocrack[®]. La reducida población de insectos benéficos encontrados en las parcelas aplicadas con Actara 25 WG[®], puede atribuirse a la acción sistémica y de contacto del insecticida.

Cuadro 1. Efecto de productos de origen orgánicos y "alomonas", sobre la población de ninfas de *Tagosodes orizicolus* (Muir), en arroz. Chepo, Panamá, 2003.

Tratamiento (Dosis)	Pre-Conteo	1 D.D.A. ¹	3 D.D.A.	5 D.D.A.	7 D.D.A.	10 D.D.A.	12 D.D.A.	15 D.D.A.
Biocrack [®] (6.50 l/Ha)	13.25 a	6.50 c ¹ (27.77) ³	4.50 c	5.25 bc	4.75 bc	5.00 b	3.75 ab	4.00 a
Biocrack [®] (1.0 l/Ha)	14.25 a	3.25 b (63.88)	2.75 ab	3.00 b	3.25 b	4.00 b	4.75 b	5.00 b
Biocrack [®] (1.5 l/Ha)	16.50ab	2.75 ab (69.44)	1.25 a	1.00 a	1.50 a	2.25 a	2.75 a	3.00 a
Garlic [®] (2 l/Ha)	17.75ab	10.00 d (0)	10.75 d (0)	8.00 cd (17.94)	9.50 d (0)	11.00 d (0)	14.25 c (0)	15.00 c (0)
Actara WG 25 [®] (100 g l.a./Ha)	15.25ab	1.25 a (86.11)	1.00 a (90.00)	1.25 a (87.17)	2.50 ab (60.00)	2.50 a (64.28)	4.25 ab (15.00)	6.25 c (10.71)
Testigo	13.75 a	9.00 d	10.00 d	9.75 d	6.25 c	7.00 c	5.00 b	7.00 c
C.V. (%)⁴	8.00	28.54	26.03	28.39	22.25	21.06	18.45	29.47

¹ D.D.A.- Días después de la aplicación.

² Medias seguidas de la misma letra en cada columna, no difieren estadísticamente entre sí, considerando 5% de probabilidad, por medio de la Prueba Duncan.

³ La eficiencia de control de los tratamientos, en porcentaje se encuentra entre paréntesis (), de acuerdo a Abbot (1925).

⁴ Coeficiente de Variación (%).

Cuadro 2. Efecto de productos de origen orgánicos y "alomonas", sobre la población de adultos de *Tagosodes orizicolus* (Muir), en arroz. Chepo, Panamá, 2003.

Tratamiento (Dosis)	Pre- Cuento	1 D.D.A. ¹	3 D.D.A.	5 D.D.A.	7 D.D.A.	10 D.D.A.	12 D.D.A.	15 D.D.A.
BioCrack ^a (0.50 l/Ha)	22.00 a	3.50 b ² (80.82) ³	4.75 e (78.40)	5.50 bc (65.62)	8.75 bc (57.83)	15.00bc (37.50)	14.75 e (13.23)	18.00 e (5.26)
BioCrack ^a (1.0 l/Ha)	23.25 a	4.25 b (76.71)	5.25 e (76.13)	6.00 bc (62.50)	7.25 b (63.75)	12.50 b (47.91)	15.75 e (7.35)	20.25 e (0)
BioCrack ^b (1.5 l/Ha)	18.50 ab	2.00 a (89.04)	3.25 bc (85.22)	4.75 ab (70.31)	3.50 a (83.13)	3.25 a (86.45)	8.25 b (51.47)	14.00 b (26.31)
GarHe ^a (2 l/Ha)	19.75 ab	8.50 c (53.42)	10.00 d (54.54)	7.75 cd (51.56)	9.00 c (56.62)	16.00 c (33.33)	14.25 c (16.17)	19.50 c (0)
Actara WG 25* (100 g l.a./Ha)	24.00 a	2.25 a (87.67)	1.75 a (92.04)	3.50 a (78.12)	2.50 a (87.95)	2.00 a (91.66)	3.25 a (80.88)	7.50 a (60.52)
Testigo	26.75 a	18.25 d	22.00 f	16.00 d	20.75 d	24.00 d	17.00 d	19.00 c
	24.57	33.01	32.98	28.93	22.78	24.29	28.92	21.04

¹ D.D.A.- Días después de la aplicación.

² Medias seguidas de la misma letra en cada columna, no difieren estadísticamente entre sí, considerando 5% de probabilidad, por medio de la Prueba de Duncan.

³ La eficiencia de control de los tratamientos, en porcentaje se encuentra entre paréntesis (), de acuerdo a Abbot (1925).

⁴ Coeficiente de Variación (%).

Cuadro 3. Efecto de productos de origen orgánicos y "alomonas", sobre la población de parasitoides (P) y depredadores (D), en arroz. Chepo, Panamá, 2003.

Tratamiento (Dosis)	Pre-Cuenta	1 D.D.A. ¹	3 D.D.A.	5 D.D.A.	7 D.D.A.	10 D.D.A.	12 D.D.A.	15 D.D.A.
Biocrack [®] (0.50 l/Ha)	1.50 a ² 3.50 a	1.00 a ³ 2.75 a ⁴	2.50 a 3.25 a	2.00 a 2.25 a	2.50 a 1.75 a	1.75 a 4.00 a	1.75 a 3.00 a	1.50 a 3.25 a
Biocrack [®] (1.0 l/Ha)	2.25 a 2.75 a	2.00 a 2.25 a	2.25 a 3.00 a	2.25 a 2.50 a	2.25 a 2.25 a	2.00 a 3.75 a	2.75 a 2.75 a	1.25 a 4.50 b
Biocrack [®] (1.5 l/Ha)	1.75 a 3.00 a	2.50 a 3.50 a	2.25 a 3.75 a	1.75 a 3.00 a	2.25 a 2.00 a	2.00 a 3.00 a	1.75 a 3.50 a	0.75 a 3.00 a
Garlic [®] (2 l/Ha)	2.00 a 3.25 a	2.00 a 3.50 a	2.75 a 3.25 a	1.75 a 2.00 a	3.50 a 2.25 a	2.75 a 3.75 a	2.00 a 3.50 a	0.50 a 3.25 a
Actara WG 25 [®] (100 g i.a./Ha)	1.00 a 3.00 a	2.25 a 3.00 a	2.50 a 3.75 a	2.25 a 2.00 a	3.00 a 2.75 a	2.50 a 3.50 a	2.75 a 3.00 a	1.75 a 3.00 a
Testigo	2.50 a 3.25 a	2.25 a 3.75 a	2.75 a 3.50 a	2.00 a 2.25 a	2.50 a 2.50 a	2.25 a 3.00 a	1.75 a 3.25 a	2.00 a 2.75 a
C.V. (%) ⁵	9.87 8.54	11.52 9.57	13.33 11.02	8.57 9.04	8.08 7.97	11.85 10.18	9.92 8.07	11.78 12.49

¹ D.D.A. - Días después de la aplicación.

² Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no difieren estadísticamente entre sí, considerando 5% de probabilidad, por medio de la Prueba de

CONCLUSIONES

El tratamiento de Biocrack (1.5 l / Ha), para el manejo de la población de ninfas de *T. orizicolus*, se mantuvo eficiente hasta los 12 D.D.A.

El Biocrack® posee mayor eficiencia en la reducción de la población de ninfas, que para los adultos.

La metodología utilizada, no permitió evaluar el impacto de los tratamientos sobre la entomofauna benéfica.

REFERENCIAS

Abbot, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-7.

Apple, J. L. & R. J., Smith. 1976. *Integrated pest management*. Plenum Press, Nueva York, 456 pp.

Arias, M.; M. Vivas; A. Cuevas & A. Pantoja. 1993. Parasitization of *Tagosodes orizicolus* and *Tagosodes cubanus* in northeastern Colombian ricefields. *Int. Rice Res. Newsl.*; 18(2) : 32 – 3.

CIAT. 1984. *Reseña de los logros principales durante el período 1977-1983*. Cali, Colombia; CIAT. 104 pp.

Estrada, F. 1988. *Insectos asociados al arroz*. IDIAP (Mimeografiado), Panamá, Panamá. 5 pp.

King, A. B. S. & J. L., Saunders. 1984. *The Invertebrate Pests of Annual Food Crops in Central America*. London, Overseas Development Administration, Turrialba, Costa Rica. 164 pp.

Pantoja, A., R. Franqui & S. Medina. 1989. Homoptera – Auchenorrhyncha from rice fields in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P. R.*, 73: 397 – 8.

Pantoja, A. & M. P., Hernández. 1993. *Sogatodes* o *Tagosodes*: Sinonimia y evaluación de daño mecánico. *Arroz (Colombia)*, 42: 30 – 31.

Pantoja, A., A. Fisher, F. Correa -Victoria, L. R. Sanint & A., Ramírez. 1997. Manejo Integrado de Plagas en Arroz: Artrópodos, enfermedades y malezas. CIAT, Cali, Colombia. 141 pp.

Purseglove, J. W. 1972. Tropical Crops. Monocotyledons. Harlow, Great Britain, Longman. 607 p.

Shannon, P. 1989. Programas de Manejo Integrado de Plagas: Arroz. En: Andrews, K. & J. R., Quesada. Manejo Integrado de Plagas Insectiles en la Agricultura: Estado Actual y Futuro. Escuela Agrícola Panamericana (EAP), El Zamorano, Honduras, Centroamérica. 623 pp.

Vivas, L. 1991. Investigación de insectos plaga en el Río Guárico. En: Arroz en las Américas, 13 (2): 3-5.

Zachrisson, B. A. 1991. Resultados preliminares sobre la fluctuación poblacional de insectos-plagas, en tres variedades de arroz. XXXVIII. Reunión Anual, PCCMCA, IDIAP, Panamá. 260 pp.

Zachrisson, B. A. 1998. Manejo Integrado del Cultivo (MIC): Componente Entomológico. Informe Técnico, IDIAP, Panamá, Panamá. 4 pp.

Zeigler, R. S., A. Pantoja, M. C. Duque & G. Weber. 1993. Characteristics of resistance in rice to the Rice Hoja Blanca Virus and its vectors, *Tagosodes orizicolus* (Muir). Ann. Appl. Biol. , 124: 429-40.

Recibido julio de 2004, aceptado marzo de 2005.

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS LOG LINEAL EN UN ESTUDIO DE LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA EN EL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

¹Gladys Linares Fleites(*), ²José Lino Zumaquero Ríos

¹Instituto de Ciencias (ICUAP), ²Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Puebla, México.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar la relación entre algunas variables abióticas (orientación, altura, temperatura y precipitación) y la distribución de cuatro especies de triatomos: (*Meccus pallidipennis*, *Triatoma dimidiata*, *Triatoma barberi* y *Meccus bassolsae*), vectores de la enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana. Esta enfermedad es considerada actualmente como uno de los principales problemas de salud en los países de Latinoamérica, ya que se estima que entre 16 y 18 millones de personas están infectadas. El estudio se realizó en el estado de Puebla, México, en el período 2000 – 2003. Dado el carácter empírico del estudio, inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos con la técnica de correspondencias múltiples y posteriormente, se utilizaron modelos log lineales para el análisis confirmatorio. Los resultados mostraron que la especie *Meccus pallidipennis* es abundante en el sur a bajas temperaturas, a diferencia de *Triatoma dimidiata* que fue asociada a la orientación norte y a temperatura alta. Con base en este estudio, la humedad relativa constituye un factor independiente y la relación de la temperatura con estas especies parece explicar la presencia de las mismas en la región.

PALABRAS CLAVES

Enfermedad de Chagas, triatomino, métodos estadísticos, análisis de correspondencia múltiple, análisis de log linear, variables bióticas vs. variables no bióticas .

ABSTRACT

The aim of the present study is showed the relationship between some non biotic variable (orientation, altitude, temperature and precipitation) and four species of triatomines: *Meccus pallidipennis*, *M. bassolsae*, *Triatoma barberi* y *T. dimidiata*. Practically all the triatomines are vectors of Chagas diseases. This disease is considering a main problem of health in so many Latin America countries since there are 16 to 18 millions of cases. This study was developed between 2002/2003 in the *Sierra Norte* and *Mixteca Poblana* (Puebla, Mexico). In this geographic region important populations of the vectors are existing. The relationship between the triatomine species and the non biotic variables was determined by exploratory and conformatory studies applying the techniques of multiple correspondence and analysis lineal log. It was verified that *Meccus pallidipennis* are abundant at the south orientation and low temperature, on the other hand, *Triatoma dimidiata* is associated to high temperature and north orientation. The relative humidity is an independent factor, according on this study. The relation of the temperature to this species seems to explain the presence of triatomine populations in this region.

KEYWORDS

Chagas disease, triatomines, statistic methods, multiple correspondence analysis, log linear analysis, biotic vs. non biotic variables.

INTRODUCCIÓN

La tripanosomiasis americana o enfermedad de Chagas, descubierta a principios del siglo XX por el médico brasileño Carlos Chagas, es uno de los mayores problemas de salud en los países de Latinoamérica, donde se estima que entre 16 y 18 millones de personas están infectadas, de las que mueren 50 mil cada año, y que 120 millones de personas están en riesgo de contraer la enfermedad.

El estado de Puebla, en la república mexicana, existen al menos cuatro especies de triatominos: *Meccus pallidipennis*, *Triatoma dimidiata*, *Triatoma barberi* y *Meccus bassolsae*, Para el país se notifican hasta 33 especies, todas transmisoras o potencialmente vectores de esta enfermedad. Los triatominos se distribuyen de acuerdo a determinadas condiciones eco geográficas en el estado. Dada la peligrosidad de la enfermedad de Chagas, es muy importante analizar las posibles relaciones entre estas especies y algunas variables abióticas como la temperatura, la altitud, la humedad relativa y la orientación geográfica.

El esclarecimiento de las relaciones entre las variables no bióticas y la distribución de triatominos requiere de formas mixtas de análisis estadísticos puramente exploratorios de datos y de análisis puramente confirmatorios (Víctor et al., 1981). Cada uno de estos análisis tienen su propia importancia, diferentes objetivos y deben realizarse e interpretarse de manera separada. En un reciente estudio de los triatominos vectores *Trypanosoma cruzi* en ecotopos del estado de Puebla (Zumaquero et al., 2003; 2004, 2004a) (Zumaquero 2004) se siguió una metodología novedosa: la realización de un análisis exploratorio y la realización de un posterior análisis confirmatorio.

Dado que el objetivo del análisis exploratorio es el conocimiento de las estructuras y aspectos integrantes de los datos, se utilizó la técnica de correspondencias múltiples, mientras que para la realización del análisis confirmatorio, cuyo objetivo es probar las hipótesis resultantes de la exploración inicial, se utilizaron modelos log lineales para las tablas de contingencias resultantes.

Aunque en el estado de Puebla se han realizado estudios de seroprevalencia (Sánchez Guillén et al., 2002, Sosa Jurado et al., 2004) existe poca información y conocimiento muy limitado de la distribución de triatominos y prácticamente nada de las condiciones en que se encuentra la infección natural de mamíferos conocidos en México como reservorios de *T. cruzi*. Zárate 1985.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de los triatominos vectores se realizó en el estado de Puebla ubicado entre los 20° 50' S 17° 52' 96° 43' N y un 99° 04' W una altura superior a los 2600 metros sobre el nivel del mar (msnm) y llega en algunas zonas hasta por debajo de 760 msnm. El clima es templado al norte, cálidos y secos al sur con gran variedades que permitieron dividir según el predominio de estas variables, en dos zonas fisiográficas: una al sur con temperaturas elevadas y lluvias en verano con predominio de zonas xerófitas (Mixteca poblana) y al norte la Sierra Norte del estado con bajas temperaturas desde el inicio del otoño e invierno y lluvias torrenciales durante la primavera los promedios de temperatura son entre los -2 a 18 °C y la altura es variable.

Se estudiaron cinco variables: temperatura, precipitación, altitud, orientación y especies de triatominos halladas en las 32 zonas de estudio. En el Cuadro 1 se resume la tabla de datos correspondiente. INEGI 2000.

La tabla de datos fue transformada de la manera siguiente: las cuatro primeras variables cuantitativas se categorizaron en dos clases cada una, mientras que la variable referida a las especies se redujo a tres clases, al agrupar las especies *Triatoma barberi* y *Meccus bassolsue* en una sola clase, dado su baja frecuencia.

En los Cuadros 2 y 3 se muestran otras dos tablas de frecuencias que permitieron profundizar en los objetivos del estudio.

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES (ACM)

El análisis exploratorio de los datos se realizó con un *Análisis de Correspondencias Múltiples* (ACM) que es una técnica multivariada que permite la transformación de datos categóricos y con la que se obtienen tres resultados esenciales: (1) la inercia o variabilidad explicada, (2) las variables ficticias, que son variables no observables obtenidas como combinaciones lineales de las observables y (3) la representación gráfica de las primeras dimensiones que se consideren más importantes (Linares 1990).

Cuadro 1. Tabla de datos de los 32 sitios muestreados en el estado de Puebla, México.

MUNICIPI	ORIENT.	ALTITUD	TEMP.	PRECIPT.	TRIATOM.
Acatlán	Sur	1180	24.5	651.90	palli
Xayacatl	Sur	1260	22.7	548.70	palli
Izucar d	Sur	1300	22.5	480.00	palli
San Jero	Sur	1300	24.3	539.00	palli
Santo Do	Sur	1340	21.5	900.00	palli
San Juan	Norte	1360	19.8	200.00	palli
Huachin	Norte	1540	16.4	2301.00	dimi
Tehuacan	Sur	1640	21.7	370.30	palli
Tepexi d	Sur	1700	22.5	2000.00	palli
Atlixco	Sur	1840	19.8	902.60	palli
Zacatlan	Norte	2040	16.7	1000.00	dimi
San Andr	Sur	2140	20.3	980.00	palli
Quechola	Sur	2160	21.7	200.00	otros
Palmar d	Sur	2200	15.0	200.00	otros
Tepeaca	Sur	2230	23.3	1300.00	palli
Morelos	Sur	2300	25.1	1500.00	palli
Chietla	Sur	1120	27.0	980.00	palli
Huatlatl	Sur	1580	23.0	377.00	palli
San Pedr	Norte	1120	20.6	200.00	palli
San Pabl	Norte	1140	19.8	200.00	dimi
Hueytama	Norte	700	21.0	876.70	dimi
Ayotoxco	Norte	300	23.2	543.20	dimi
Tepexco	Sur	1199	23.0	1500.00	palli
Jopala S	Sur	620	25.6	800.00	palli
Tlapanal	Sur	1400	24.0	756.00	palli
Pahuatla	Sur	1100	19.0	1550.00	dimi
Guadalup	Norte	1100	15.0	600.00	palli
Huehuetl	Norte	540	22.0	435.50	dimi
Francisc	Norte	320	23.0	1000.00	dimi
Zacapoax	Norte	1800	19.3	2000.00	dimi
Huehuetl	Sur	960	23.0	1000.00	palli
Zapotitl	Sur	1500	20.2	200.00	palli

Cuadro 2. Tabla de frecuencias de triatomos según las categorías de las variables orientación, altura y temperatura.

	ORIEN	ALT	TEMP	FREC
1	Norte	bajo	bajo	0
2	Sur	bajo	bajo	0
3	Norte	alto	bajo	1
4	Sur	alto	bajo	19
5	Norte	bajo	alto	19
6	Sur	bajo	alto	1
7	Norte	alto	alto	5
8	Sur	alto	alto	13

Cuadro 3. Tabla de frecuencia según las especies de triatomos y las categorías de las variables temperatura y % humedad relativa.

	ESPECIE	TEMP	HR%	FREC
1	dimidi	1	1	9
2	pallidi	1	1	5
3	barber	1	1	2
4	bassol	1	1	0
5	dimidi	2	1	5
6	pallidi	2	1	18
7	barber	2	1	2
8	bassol	2	1	4
9	dimidi	1	2	13
10	pallidi	1	2	2
11	barber	1	2	0
12	bassol	1	2	0
13	dimidi	2	2	3
14	pallidi	2	2	5
15	barber	2	2	0
16	bassol	2	2	1

Nota: 1: bajo; 2: alto

Los cálculos se realizaron empleando el programa *STATISTICA 2000* (StatSoft Inc; Tulsa, OK, USA) y estuvieron basados en las siguientes matrices:

- P** es la matriz de frecuencias relativas.
- r** es el vector de totales por fila de **P**.
- c** es el vector de totales por columnas de **P**.
- D_r** es una matriz diagonal, con elementos en la diagonal iguales a los totales por fila de **P**.
- D_c** es una matriz diagonal, con elementos en la diagonal iguales a los totales por columna de **P**.

Las coordenadas de las filas y columnas están basadas en la descomposición del valor singular de **P**, esto es,

$$\mathbf{P} = \mathbf{A} \mathbf{D}_u \mathbf{B}'$$

tal que

$$\mathbf{A} \text{ inversa}(\mathbf{D}_r) \mathbf{A} = \mathbf{B}' \text{ inversa}(\mathbf{D}_c) \mathbf{B} = \mathbf{I}$$

donde

- A** es la matriz de vectores singulares generalizados del lado izquierdo,
- B** es la matriz de vectores singulares generalizados del lado derecho,
- D_u** es la matriz diagonal con elementos en la diagonal iguales al valor singular generalizado, y
- I** es la matriz identidad.

A partir de las matrices anteriores se obtuvieron: a) la inercia total y por dimensión, b) la calidad de la representación y c) los cosenos cuadrados para las dimensiones individuales, que pueden interpretarse como las correlaciones entre la dimensión o factor y las variables originales.

Dado que en este análisis, las especies fueron consideradas puntos suplementarios en el ACM, estos se calcularon como:

$$\mathbf{R}_s \text{ inversa}(\mathbf{D}_c) \mathbf{B}$$

donde **R_s** es la matriz de frecuencia relativa por fila.

Con el ACM de esta tabla de datos se pudo revelar cuales son las dimensiones más importantes del fenómeno de la distribución de especies vectores a la enfermedad de Chagas. Se trabajó con cuatro variables categorizadas en dos niveles, a saber, altura (A: baja < 1000 *msnm* y alta), orientación (O: norte y sur), temperatura (T: baja < 18°C y alta), y precipitación (P: baja < 400 *mmhg* y alta). Se contó además con otra variable que da las frecuencias de especies encontradas en cada punto de muestreo y que hemos denominado especie (E), clasificadas en tres niveles: PALLI, DIMI y OTROS (incluye las restantes especies). Esta última variable la consideraremos como variable suplementaria.

El objetivo del ACM fue describir donde se encuentran fundamentalmente las distintas especies de triatomos, en función de las variables abióticas consideradas.

El Cuadro 4 muestra los valores propios y los porcentos de inercia o variabilidad de cada una de las variables ficticias o factores. Puede apreciarse que con las tres primeras dimensiones se explica un 90% de la variabilidad total del fenómeno, pero aun con sólo dos dimensiones se explica el 68%, de manera que, en lo adelante, trabajaremos con dos dimensiones.

El Cuadro 5 muestra los elementos necesarios para dilucidar cuales son las variables originales en cada una de las dos primeras dimensiones o factores. Obsérvese que las variables orientación, altura y temperatura tienen altos índices de calidad. También los cosenos cuadrados de la dimensión 1 son altos para las variables orientación y altura, mientras que el coseno cuadrado de la segunda dimensión es alto para la variable temperatura. La precipitación no quedó bien representada en las dos primeras dimensiones.

Cuadro 4. Inercia o variabilidad explicada por cada factor o dimensión.

	Valores Propios	Porcentaje Inercia	Porcentaje Inercia acumulado
1	.3547	35.4752	35.4752
2	.3220	32.2020	67.6773
3	.2269	22.6922	90.3695
4	.0963	9.6305	100.00

Cuadro 5. Calidad de la representación, inercia relativa y cosenos² para las dos primeras dimensiones y para la variable suplementaria E:(especies de triatomas).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
O:Norte	.79	.16	.26	.56	.11	.22
O: Sur	.79	.09	.14	.56	.06	.22
A: bajo	.79	.20	.34	.60	.12	.19
A: alto	.79	.05	.08	.60	.03	.19
T: bajo	.70	.22	.04	.06	.44	.64
T: alto	.70	.03	.01	.06	.06	.64
P: bajo	.43	.19	.10	.20	.13	.23
P: alto	.43	.06	.03	.20	.04	.23
E:PALLI	.38			.28		.10
E: DIMI	.52			.49		.03
E: otros	.17			.07		.10

- (1) Calidad de la representación
- (2) Inercia relativa
- (3) y (5) Inercia relativa de la dimensiones 1 y 2 respectivamente
- (4) y (6) Cosenos cuadrados (correlaciones) de las dimensiones 1 y 2 con las variables originales.

De esta manera podemos explicar estas dimensiones o factores como:
Dimensión 1. Esta dada por la interrelación existente entre altura y orientación.

Dimensión 2. Caracterizada por la temperatura.

La reducción de dimensión alcanzada permite la representación gráfica del fenómeno. (Linares 2001)

En la Figura 1, el eje horizontal representa la altura y la orientación y el eje vertical la temperatura. Puede observarse que los individuos suplementarios E:PALLI y E:DIMI están bien representados.

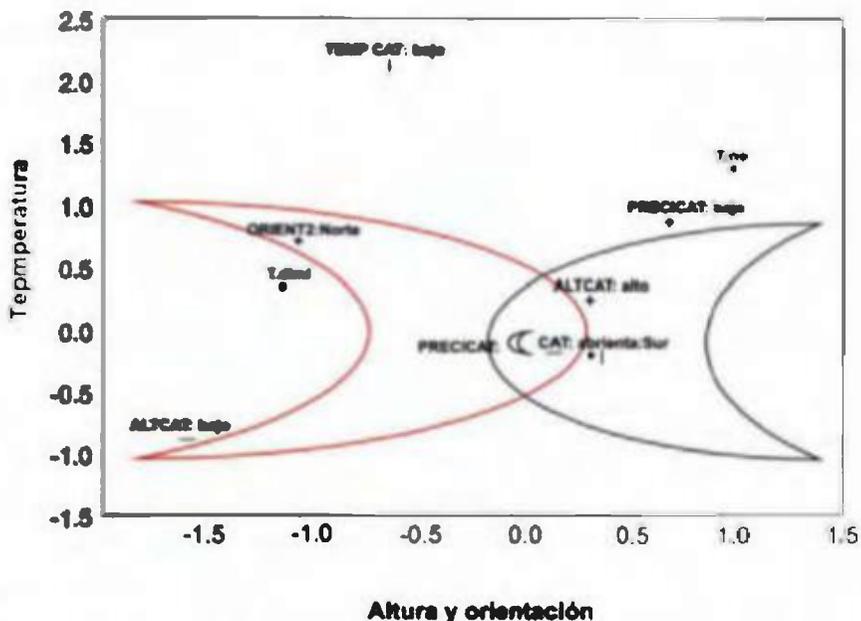


Fig. 1. Relación entre las especies de triatomíneos encontradas y variables abióticas de sus ecosistemas.

Según los resultados de la exploración de los datos, llevada a cabo con un ACM, es factible plantear la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS: *La especie Triatoma dimidiata es abundante en la orientación norte en baja altitud y altas temperaturas, mientras que la especie Meccus pallidipennis es abundante en alturas elevadas, orientación sur y bajas temperaturas.*

Para realizar el análisis confirmatorio utilizaremos un análisis log lineal.

ANÁLISIS LOG LINEAL

Se elaboró una tabla de contingencia de tres entradas donde se recogieron las frecuencias de las diferentes especies en los dos niveles de orientación, los dos niveles de altura y los dos niveles de temperaturas considerados, misma que se muestra en el Cuadro 2.

A partir de esta tabla se ajustó el modelo con interacciones de dos entradas (altura - orientación y temperatura - orientación). Este modelo se expresa como:

$$\log \mu_{ijk} = \lambda + \lambda_i^x + \lambda_j^y + \lambda_k^z + \lambda_{ij}^{xy} + \lambda_{jk}^{yz}$$

donde x , y , y z son la orientación, la altura y la temperatura respectivamente y los índices i , j representan las categorías de estas variables, la frecuencia esperada se denota por μ_{ijk} y los parámetros desconocidos por λ .

Considerando la hipótesis nula, que las frecuencias esperadas satisfacen el modelo dado arriba, utilizamos los estadígrafos de máxima verosimilitud y de Pearson (Agresti 1996), a saber,

$$G^2 = 2 \sum n_{ijk} \log (n_{ijk}/\mu_{ijk}), \text{ y}$$

$$\chi^2 = \sum \{ (n_{ijk} - \mu_{ijk})^2 / \mu_{ijk} \}$$

donde

n_{ijk} son las frecuencias observadas y

μ_{ijk} son las frecuencias esperadas (estimadas).

Estos estadígrafos se distribuyen Chi-cuadrado con grados de libertad igual al número de celdas de la tabla menos el número de parámetros no redundantes en el modelo.

La bondad del modelo que se está analizando se caracteriza por

- Chi cuadrado máx. ver. = 3.2119 con 2 grados de libertad y p-empírico de 0.2007.
- Chi cuadrado de Pearson = 3.6035 con 2 grados de libertad y p-empírico de 0.1650.

Como puede apreciarse, por el valor de estos estadígrafos y de los p-empíricos correspondientes, el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, ya que a un nivel de significación del 5% , se acepta la hipótesis de nulidad. Por tanto las interacciones de segundo orden (asociaciones por pares) se consideran de interés y explican el fenómeno bajo estudio.

Las tablas marginales (estimadas) que surgen de este modelo son:

ORIENTACION

ALTITUD	Norte(%)	Sur (%)	Total (%)
Bajo (%)	32.25	3.22	35.47
Alto (%)	11.29	53.22	64.51
Total(%)	43.54	56.42	99.96

ORIENTACION

TEMPER	Norte(%)	Sur (%)	Total(%)
Bajo (%)	3.22	32.25	35.47
Alto (%)	40.32	24.19	64.51
Total(%)	43.54	56.44	99.98

Observando las casillas de altos porcentajes en las tablas marginales e identificando las especies en la tabla de datos originales, se pudo corroborar la hipótesis formulada en el análisis exploratorio. Si se considera que, a pesar de que la variable precipitación en el análisis de correspondencia realizado antes, explica pobremente el fenómeno y no está representado en el gráfico de las dos primeras dimensiones, sería importante ver el comportamiento de la humedad relativa en su interacción con la temperatura y las especies. Con nueva información recopilada se elaboró una tabla en la que se desglosan todas las especies encontradas y que se muestra en el Cuadro 3.

El modelo con la interacción de dos entradas temperatura - especie es el que mejor ajusta los datos de esta tabla. Este modelo tiene la siguiente caracterización:

- Chi cuadrado máx. ver. = 8.4148 con 7 grados de libertad y p-empírico de 0.2975.
- Chi cuadrado de Pearson = 8.3686 con 7 grados de libertad y p-empírico de 0.3012.

Como puede apreciarse por el valor de estos estadígrafos y p-empíricos correspondientes, este modelo se ajusta adecuadamente a los datos. Las tablas marginales (estimadas) son:

ESPECIES (%)

TEMPE	(1)	(2)	(3)	(4)
Baja(%)	29.9	10.3	3.89	1.29
Alta(%)	11.7	31.2	3.89	7.79

(1) *Meccus pallidipennis*, (2) *Triatoma dimidiata* (3) *Triatoma barberi* (4) *Meccus bassolsae*.

HUMEDAD RELATIVA %

	Baja	Alta
Porcentaje	63.6	36.3

Se manifiesta de nuevo que la temperatura tiene gran incidencia en la aparición de las especies de triatomas. En la tabla marginal de temperatura y especies se destaca que a temperaturas bajas el 46% son *Triatoma dimidiata*, mientras que a temperatura altas el 52% son *Meccus pallidipennis*. Las otras especies aparecen con frecuencias despreciables.

La humedad relativa aunque tiene importancia en la presencia de los triatomas no está relacionada directamente con ninguna especie en particular; sin embargo, se pudo comprobar que esta variable decide en el número de eclosiones en condiciones de laboratorio Zumaquero 1983 Schofield 1994, Martínez-Ibarra 1999 Alejandro 2004.

DISCUSIÓN

Las especies parecen mantener un interesante rango de dispersión. Por medio del ACM se pudo explicar la presencia de triatomas vectores de la enfermedad de Chagas en relación a la altitud, la orientación y la temperatura y llegar a confirmar que más del 67 % de la variabilidad están relacionadas con estas variables. Se constató que la especie *Meccus pallidipennis* es abundante en la orientación sur y a grandes alturas, a diferencias de *Triatoma dimidiata* que es asociado con la orientación norte y alturas bajas. La altura es una variable ampliamente discutible, pues los sitios de colecta más frecuente y de mayor cantidad de organismos fueron los sitios San Antonio Rayón en Jonotla y Lázaro Cárdenas en Xicotepec de Juárez en la Sierra Norte de Puebla, con alturas hasta cercanas a los 760 msnm, de ahí que los resultados del modelo *log lineal* analizado muestran que la especie *Triatoma dimidiata* se ubica hacia el norte del estado en condiciones de temperatura alta y altitud baja. Debiera considerarse, sin embargo, que la altura es moderada y junto a las altas temperaturas y también a la alta humedad relativa se tienen las variables abióticas que deciden la ecología de esta especie en varios países de Latinoamérica como Panamá, Honduras, Guatemala, Costa Rica, Nicaragua y El Salvador (Zeledón et al., 2001).

Al elegir el mejor modelo *log lineal* de la tabla que relaciona las cuatro especies consideradas con la temperatura y la humedad relativa, se aprecia que estas poblaciones están íntimamente relacionadas con las variables abióticas estudiadas, donde la temperatura promedio de 22 grados y la humedad relativa del 55.8 % no parecen ser limitantes para su desarrollo. Sin embargo, según este estudio, la humedad relativa constituye un factor independiente, mientras que la relación de la temperatura con las especies, parece explicar la presencia de las mismas.

La altura ha sido una variable discutida, Rangel-Flores et al. (2000) señalaron que observaron que en determinadas altitudes la infestación por triatomíneos es pobre en particular alrededor de los 1500 msnm aspecto que no se corrobora para el estado de Puebla y otros estudios realizados en Cochabamba, Bolivia donde se aprecian altos índices densidades poblacionales de triatomíneos y hasta más de un 45% de seroprevalencia en humanos. En nuestro caso si se observaron índices de infestación y colonización altos en zonas de altitudes mayores; Sin embargo coincidimos de que en algunos casos el índice de infección por *T cruzi* es bajo Zumaquero 2003 a.

La temperatura si ha sido una variable sobre la cual se ha coincidido con varios autores y se demuestra que durante la primavera, verano y el otoño se incrementan las poblaciones de estas chinches observando quizás un proceso diapausante durante el invierno, cuando sus poblaciones se hacen mínimas en el intradomicilio (Schofield 1994) (Zeledón 2001). Este aspecto es corroborado con el estudio de distribución y log lineal que permite hacer una rotación de las variables y las poblaciones de los insectos en las zonas fisiográficas seleccionadas para este estudio, lo cual aporta un modelo para estudios en otras áreas de posible endemidad de la enfermedad de Chagas , si se toma en consideración que el 80% de los casos en Latinoamérica son notificados como de transmisión vectorial.

CONCLUSIONES

Según los resultados de este estudio, en el estado de Puebla existen cuatro especies de triatomíneos susceptibles a la infestación por el agente causal de la enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana. Las especies que parecen estar implicadas son: *Meccus*

pallidipennis, *Triatoma dimidiata*, *Triatoma barberi* y *Meccus bassolsae*, de las cuales las más abundantes son las dos primeras.

El análisis realizado permitió determinar las posibles ubicaciones de estas especies relacionándolas con las variables abióticas estudiadas, a saber: altura, orientación, temperatura y precipitación.

La temperatura es la variable no biótica con relación más clara con las especies, pero se aprecia un comportamiento similar a lo encontrado en otros países de Latinoamérica

REFERENCIAS

Agresti, A. 1990 An Introduction to Categorical Data Analysis. John Wiley & Sons, Inc. 290 pp.

Acha En Schofield C.J, J.P Dujardin & J. Jurberg (1995). Taller Internacional sobre genética poblacional y control de triatomíneos Santo Domingo de los colorados Ecuador 63 pp

INEGI. 2000. Instituto Nacional De Estadística Geografía e Informática Síntesis del estado de Puebla 124 pp.

Linares, G. 1990. Análisis de Datos. Editorial ENPES (Empresa Nacional de Producción del Ministerio de Educación Superior). Cuba. 589 pp.

Linares, G. 2001. Representaciones gráficas de relaciones complejas. En: Ordenando el Caos. Colectivo de autores. Editorial "Félix Varela". Ciudad de la Habana. 237 pp.

Martínez Ibarra J.A., G. Katthai- Duchteau & G. Galaviz. 2001. Estudio sobre los hábitos biológicos de (*Stål*) bajo condiciones de laboratorio. Publicaciones biológicas México Vol 6 (No 1): 48-50.

Rangel- Flores H., B. Sánchez, J. Mendoza-Duarte, C. Barnabé, F. S Brenière, C. Ramos & B. Espinoza. 2000. Serologic and Parasitologic demonstration of *Trypanosoma cruzi* infections in and urban area of central México: Correlation with electrocardiographic alterations, The American Journal of Tropical Medicine & Hygiene, 65 (6), 887-895.

Sánchez Guillén M.C., C. Barnabe, J.F. Guegan, M. Tibayrenc, M Velásquez- Rojas, Martínez Munguia, H. Salgado Rosas, E. Rasgado, M. I. Rosas- Ramírez & R. Perez Fuentes. 2002. High prevalence of antibody anti *Trypanosoma cruzi* among blood donors in the state of Puebla a non – Endemic Area of México. Rev. Inst. Osw. Cruz 97 (7) 947-952.

Schofield, J.C. 1994. Biology and Control of Triatominae Zeneca 70 pp.

Sosa Jurado, F., J L. Zumaquero Ríos & V. Monteón Padilla. 2004. Factores bióticos y abióticos que determinan la seroprevalencia chagásica en el municipio palmar de Bravo Puebla Rev. Salud Pùb. de Mèx. V. 30.

Statistica. 2000. Copyright, StatSoft & Inc. Tulsa, OK, USA.

Víctor, N., E. P. Brossio & Y. K. Nauman. 1981. Conceptos de valoración para estudios empíricos. Reporte Interno del Departamento de Gieben, (traducido del alemán).

Zeledón, R., M.V. Montenegro & O. Zeledón 2001. Entomological and ecological aspects of six sylvatic Species of triatomines (Hemiptera: Reduviidae) from the collection of the National Biodiversity Institute of Costa Rica, central América. Mem Inst Osw. Cruz Vol:96(No 6) 757-764.

Zeledón, R., V.M. Montenegro & O. Zeledón. 2001. Evidence of Colonization of Man-made Ecotopes by *Triatoma dimidiata* Costa Rica. Memorias Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro Brazil, Vol 96 (5): 659-660.

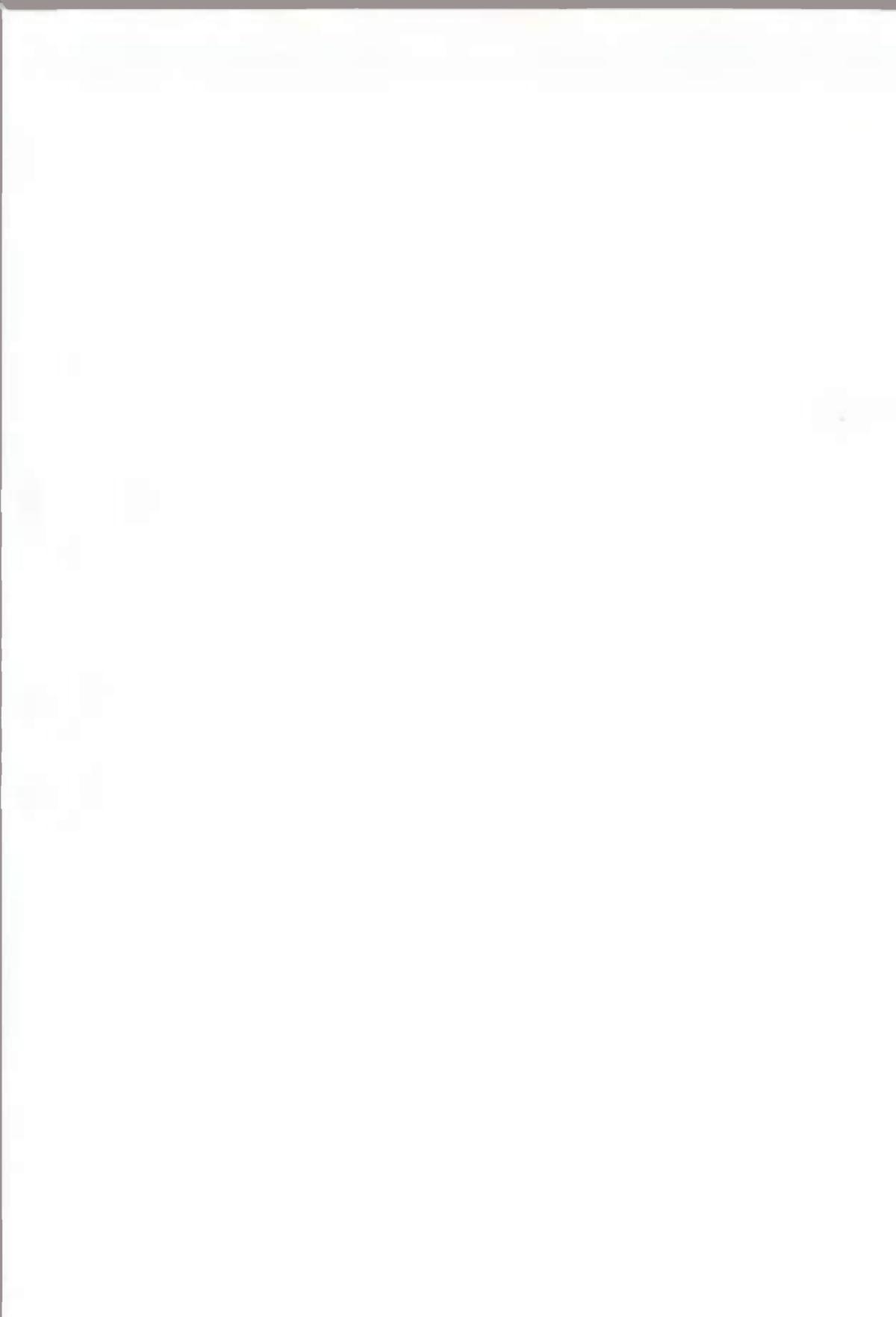
Zumaquero, J.L. 2003. Estudio de los triatomíneos vectores y de los reservorios de *Trypanosoma cruzi* en ecotopos del estado de Puebla. Propuestas de estrategias de control biológico. Tesis doctoral. 111 pp.

Zumaquero, J.L. (2003). Distribución de triatomíneos en zonas de la mixteca poblana Mem Congres Nac Entomol Méx. 357 pp.

Zumaquero, J.L. 2004 Distribución de triatominos en el estado de Puebla México. CECYT. Vol 1 4-10 pp.

Zumaquero, J. L Rfos, G Linares Fleites, M. L. Cedillo-Ramirez, F. López Olgufn, R. Caicedo-Rivas, C. Sandoval-Rufz. A. Cruz-López, B. Nogueta-Torres., R. Alexandre -Aguilar 2004a) Vectorial importance on transsmition of *Trypanosoma cruzi* of triatominos presents in Puebla, Mexico. Rev Mem Inst Osw. Cruz (en prensa).

Recibido abril de 2004, aceptado abril de 2005.





LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL ZORRILLO O GATO CAÑERO, *Conepatus semistriatus* (Carnívora: Mustelídae) EN PANAMÁ

Jacobo Araúz G.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología,
Departamento de Zoología, Escuela de Biología.
e-mail: jacoboarauz@cwpanama.net

RESUMEN

En base a información obtenida por el autor y a datos no publicados, se informa sobre nuevos registros del zorrillo o gato cañero (*Conepatus semistriatus*) en Panamá y se discute su distribución histórica. La información compilada amplía la distribución conocida de esta especie desde la región occidental de Panamá, específicamente desde las provincias de Bocas del Toro y Chiriquí hasta la parte central del istmo, cerca de la Cuenca del Canal. Se propone un mapa nuevo sobre la distribución de esta especie en el país y se presentan registros no confirmados de esta especie para la Península de Azuero y la región oeste de la provincia de Panamá.

PALABRAS CLAVES

Zorrillo, gato cañero, *Conepatus semistriatus*, distribución geográfica, Panamá.

ABSTRACT

According to the information gathered by the author, and unpublished data, historical distribution and new records of the hog-nosed skunk (*Conepatus semistriatus*) for Panama are presented, and its historic distribution is discussed. These records extend the known distribution of this species from western, provinces of Bocas del Toro and Chiriquí, to central Panama, near the Panama Canal Watershed. A new distribution map for this species is proposed, and unconfirmed records from the Azuero Peninsula and the western region of the Province of Panama are presented.

KEYWORDS

Striped hog-nosed skunk, gato cañero, *Conepatus semistriatus* , geographic distribution, Panama.

INTRODUCCIÓN

La distribución geográfica continental del zorrillo o gato cañero (*Conepatus semistriatus*) comprende zonas desde Veracruz y Yucatán, en México, hasta regiones en América del Sur (Eisenberg 1989; Emmons & Feer 1997; Reid 1997; Carrillo et al., 1999; Eisenberg & Redford 1999). En América Central se encuentra principalmente en la vertiente caribeña de Guatemala, Honduras y Nicaragua, mientras que en Costa Rica se ha registrado en todo el país (Carrillo et al., 1999; Reid 1997). En Panamá los datos de la literatura informan de su presencia en la región occidental del país, específicamente en las Provincias de Chiriquí y Bocas del Toro (Handley 1966; Hall 1981; Reid 1997). Por su parte, en Sur América se encuentra en Colombia, Ecuador, Venezuela, Perú y Brasil (Eisenberg 1989; Emmons & Feer 1997; Eisenberg & Redford 1999). En un ámbito altitudinal, los gatos cañeros de Costa Rica y Panamá ocupan zonas desde el nivel del mar hasta los 3100 m (Carrillo et al., 1999), mientras que en América del Sur se ha registrado desde el nivel del mar hasta los 4100 m (Reid 1997).

En su amplio ámbito geográfico, los gatos cañeros ocupan una gran variedad de ambientes, como bosques alterados, bosques secos, bosques lluviosos, bosques de galería, pastizales con árboles dispersos, plantaciones de café, jardines y bordes de carreteras, entre otros (Emmons & Feer 1997; Carrillo et al., 1999). La dieta de estos carnívoros también es diversa e incluye entre otros componentes, insectos adultos y sus larvas, pequeños vertebrados y algunas frutas (Méndez 1970; Carrillo et al., 1999).

Como se ha señalado, hasta el presente la distribución geográfica histórica del gato cañero en Panamá ha sido circunscrita por la literatura al occidente del país (Handley 1966; Hall 1981; Eisenberg 1989; Reid 1997). Esto se ha debido a que las únicas localidades documentadas para esta especie eran Boquerón, Boquete y Cerro Punta (Chiriquí) y Sibubé (Bocas del Toro) (Handley 1966). No obstante, Méndez (1970) señaló la posibilidad de que este mamífero también estuviera presente en las provincias centrales de Veraguas, Coclé,

Herrera y Los Santos. Ante este panorama, el objetivo de este trabajo es informar sobre algunos registros del gato cañero fuera del área de distribución histórica, ya que los mismos amplían los límites de su distribución hasta la región central del istmo, cerca del Canal de Panamá.

MÉTODOS PARA LA COMPILACIÓN DE LOS DATOS

En primera instancia, se hizo una revisión de la literatura y de museo para conocer la información sobre registros geográficos del gato cañero en Panamá, lo que permitió hacer una comparación con los datos nuevos que se presentan en este trabajo. Por otro lado, los registros nuevos no se derivan de un proyecto en particular, y en lugar de ello, son el producto de informes no publicados, así como de observaciones hechas por el autor en diversas actividades de campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LOS REGISTROS HISTÓRICOS Y DE MUSEO

En el cuadro 1 y la figura 1 se aprecian los registros del gato cañero según la literatura y los ejemplares del Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá. En el caso particular de los registros de museo, todos están circunscritos al área ya descrita en la literatura para el gato cañero, por lo que no contribuyen a la ampliación del ámbito geográfico de este mamífero a nivel nacional.

Cabe señalar que la información de la literatura es la que ha hecho prevalecer por muchos años la idea errada que la distribución de este carnívoro estaría restringida a las provincias de Chiriquí y Bocas del Toro, especialmente en las tierras altas de tales provincias (ver: Handley 1966; Hall 1981; Eisenberg 1989; Emmons & Fort 1997; Reid 1997). Otro factor que ha contribuido a esta apreciación es el escaso aporte de información de campo, especialmente en áreas como el norte de Veraguas y Coclé, lo mismo que en el área de la costa abajo de Colón y en la Península de Azuero.

Cuadro 1. Registros de *Conepatus semistriatus* en la literatura y en el Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá *

LOCALIDADES	PROVINCIA	ALTURA APROXIMADA (metros)	COORDENADAS	FUENTE
Sibubé	Bocas del Toro	500	9° 21' N, 82° 45' W	Handley 1966
Carro Puata	Chiriquí	1900	8° 52' N, 82° 35' W	Handley 1966
Boquete	Chiriquí	1050	8° 47' N, 82° 26' W	Handley 1966
Boquerón	Chiriquí	200	8° 39' N, 82° 38' W	Handley 1966
Cecoba	Chiriquí	380	8° 30' N, 82° 37' W	MVUP No 0019
Bambito	Chiriquí	1500	8° 49' N, 82° 42' W	MVUP No 0269

MVUP: Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá

* Los informes de literatura y de museo carecen de una descripción del tipo de hábitat donde se obtuvieron los registros presentados en el cuadro 1.

REGISTROS QUE AMPLIAN LA DISTRIBUCIÓN

La información recabada por el autor permite comunicar sobre seis sitios nuevos y confirmados de registros para los gatos cañeros, todos ubicados fuera de la distribución conocida por la literatura. En virtud de ello, se propone un nuevo mapa sobre la distribución en Panamá para el gato cañero. Las nuevas localidades, su localización geográfica y aspectos de su entorno ambiental se presentan en el Cuadro 2 y Figura 1.

Además, en la Figura 1 se presentan tres localidades potenciales o no confirmadas, con base a informes anecdóticos en la zona de Buenos Aires de Chame, y en las cercanías de Las Tablas (provincia de Los Santos) y en Ocu (provincia de Herrera).

Cuadro 2. Nuevas localidades confirmadas para el gato cañero en Panamá fuera de su distribución histórica.

LOCALIDADES	COORDENADAS	TIPO DE HÁBITAT	ALTURA(mmsm)
Cerro San Antonio, cerca de Santa Fe, Provincia de Veraguas	8° 33' N, 81° 4' W	Bosque, rodeado de potreros	700
La Barreta, Parque Nacional Omar Torrijos Herrera, El Copé, Provincia de Coclé.	8° 36' N, 80° 44' W	Bosque, rodeado de potreros	780
El Santísimo, al norte de La Pintada, Prov. de Coclé.	8° 42' N, 80° 28' W	Borde de bosque, colindante con potreros	241
Cuatro Callitas, Dist. Donoso, Provincia de Colón.	8° 57' N, 80° 33' W	Bosque siempre verde con claros dedicados a cultivos	44
La Mina, Distrito de Chagres, Provincia de Colón.	8° 56' N, 80° 8' W	Cafetal con sombra rodeado de potreros y fragmentos de bosque secundario	67
Quebrada Bonita, Distrito de Chagres, Provincia de Colón.	9° 6' N, 80° 12' W	Potreros a orillas de Río Indio	40

Con los datos presentados en este trabajo, la distribución de *Conepatus semistriatus* en Panamá queda establecida desde la margen occidental del Canal de Panamá hasta los territorios limítrofes con la República de Costa Rica. Es posible que con la obtención de más registros se logre tener una mejor idea del ámbito geográfico de esta especie para Panamá, especialmente para este carnívoro que muestra una gran tolerancia a diferentes condiciones de hábitat.

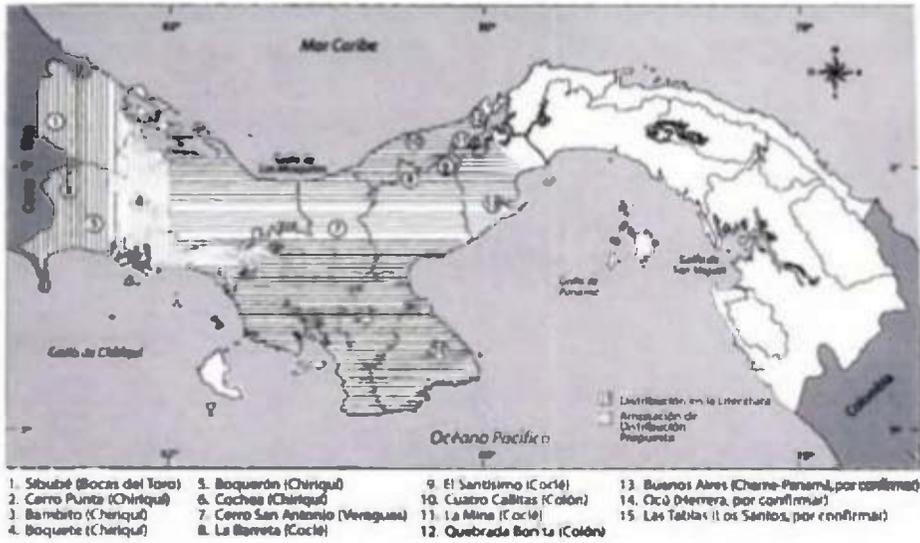


Fig. 1. Distribución en Panamá del gato cañero (*Conepatus semistriatus*) según registros en la literatura, registros nuevos y datos sin confirmar.

CONCLUSIONES

A pesar de que la mastofauna nacional es bastante conocida en lo que respecta a su riqueza de especies, todavía hay muchos aspectos por esclarecer sobre la historia natural de algunas de ellas. Con la información presentada en este trabajo se actualiza la distribución del gato cañero, que ahora comprende desde la región occidental hasta la parte central del istmo de Panamá, mientras que estaría pendiente la confirmación de algunos registros todavía anecdóticos en la Península de Azuero y otras áreas en la provincia de Panamá.

Cabe la posibilidad de que este mamífero siempre estuviera hasta donde proponemos su distribución, tal como lo señaló Méndez (1970), pero no es hasta ahora que se tiene la certeza de su presencia en estas zonas del país. Es posible que la escasez de estudios mastozoológicos al oeste de la Cuenca del Canal, al norte de Coclé, la Costa abajo de Colón y el norte de Veraguas, sea una de las razones por la que los gatos cañeros no hayan sido detectados con anterioridad. Además, sus hábitos nocturnos y su coloración oscura también pueden contribuir a que este mamífero pase desapercibido para la mayoría de las personas.

REFERENCIAS

- Carrillo, E., G. Wong & J.C. Sáenz. 1999. Mamíferos de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). 248 pp.
- Eisenberg, J.F. 1989. Mammals of the Neotropics. The Northern Neotropics, Panamá, Colombia, Venezuela, Suriname, French Guiana. Volume 1. The University of Chicago Press. Chicago, USA. 449 pp.
- Eisenberg, J.F. & K.H. Redford. 1999. Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics: Ecuador, Peru, Bolivia & Brazil. Volume 3. The University of Chicago Press. Chicago, USA. 609 pp.
- Emmons, L.H. & F. Feer. 1997. Neotropical Rainforest Mammals. Second edition. The University of Chicago Press. USA. 307 pp.
- Hall, E.R. 1981. The Mammals of North America. Vol. 2. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Handley, C.O. 1966. Checklist of the mammals of Panama pp. 753-795, in *Ectoparasites of Panama* (R.L. Wenzel & V.J. Tipton eds.). Field Mus. Nat. Hist., Chicago. xii + 861 pp.

Méndez, E. 1970. *Los Principales Mamíferos Silvestres de Panamá*. Edición privada. 283 pp.

Reid, F.A. 1997. *A Field Guide to the Mammals of Central America and Southeast Mexico*. Oxford University Press. New York, USA. 334 pp.

AGRADECIMIENTOS

Mis reconocimientos a Eduardo Santamaria, Publio González, Ricardo Moreno, Marta Moreno, Brosis Rodríguez y Alexander Montero, biólogos que contribuyeron de diferentes maneras a obtener la información para este escrito. Al Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá (MVUP) por permitir la revisión de sus dos ejemplares de gato cañero. Al personal de la Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON), especialmente a Querube Fuenmayor, Giselle Muschett y José Rincón, que aportaron valiosa información sobre los gatos cañeros registrados en Cerro San Antonio, Veraguas y en la Barreia del Copé. También agradezco a G. Muschett por los valiosos comentarios a uno de los borradores de este documento.

Recibido julio de 2004, aceptado abril de 2005



NUEVOS REGISTROS DE AVISPAS APOIDEA Y VESPOIDEA (INSECTA: HYMENOPTERA) PARA PANAMÁ

Roberto A. Cambra T.

Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Estafeta Universitaria, Universidad de Panamá, Panamá, República de Panamá.

e-mail: rcambra@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

Se registran por primera vez para Panamá los siguientes nueve géneros de avispas Apoidea y Vespoidea: **Sphecidae**: *Paradolichurus*; **Crabronidae**: *Clitemnestra*, *Lecrenierus*, *Miscophus*, *Neogorytes*, *Podagrirus*, *Psenulus*, *Taruma*; **Rhopalosomatidae**: *Liosphex*. Se registran por primera vez para Panamá las siguientes 15 especies: **Sphecidae**: *Trigonopsis violascens* (Dalla Torre, 1897); **Crabronidae**: *Chimila mocoana* Leclercq, 1980, *Clitemnestra bipunctata* (Say, 1824), *Clitemnestra densa* R. Bohart, 2000, *Lecrenierus gaspari* Leclercq, 1977, *Neogorytes albiventris* R. Bohart, 2000, *Nitela bifida* Menke, 1969, *Nitela intermedia* van Zuijlen, 1994, *Pison aranevorax* Menke, 1988, *Podagrirus fulvohirtus* (Cameron, 1891), *Psenulus mayorum* Bohart & Grissell, 1969, *Taruma bara* Pate, 1944; **Rhopalosomatidae**: *Liosphex varius* Townes, 1977; **Pompilidae**: *Ageniella (Cyrtogenia) fallax* (Arle, 1947), *Irenangelus furtivus* Evans, 1969.

PALABRAS CLAVES

Crabronidae, Sphecidae, Rhopalosomatidae, Pompilidae, nuevos registros, Panamá.

ABSTRACT

New records of nine genera of Apoidea and Vespoidea wasps from Panamá are: **Sphecidae**: *Paradolichurus*; **Crabronidae**: *Clitemnestra*, *Lecrenierus*, *Neogorytes*, *Taruma*, *Psenulus*, *Miscophus*, *Podagrirus*; **Rhopalosomatidae**: *Liosphex*. New records of 15 species from Panamá are: **Sphecidae**: *Trigonopsis violascens* (Dalla Torre, 1897); **Crabronidae**: *Chimila mocoana* Leclercq, 1980, *Clitemnestra bipunctata* (Say, 1824), *Clitemnestra densa* R. Bohart, 2000, *Lecrenierus gaspari*

Leclercq, 1977, *Neogorytes albiventris* R. Bohart, 2000, *Nitela bifida* Menke, 1969, *Nitela intermedia* van Zuijlen, 1994, *Pison aranevorax* Menke, 1988, *Podagritus fulvohirtus* (Cameron, 1891), *Psenulus mayorum* Bohart & Grissell, 1969, *Taruma bara* Pate, 1944; Rhopalosomatidae: *Liosphex varius* Townes, 1977; Pompilidae: *Ageniella* (*Cyrtagenia*) *fallax* (Arle, 1947), *Irenangelus furtivus* Evans, 1969.

KEYWORDS

Crabronidae, Sphecidae, Rhopalosomatidae, Pompilidae, new records, Panamá.

INTRODUCCIÓN

Las superfamilias Apoidea y Vespoidea incluyen avispas cuyos adultos se alimentan principalmente del néctar de flores. Las hembras adultas por lo general utilizan a otros artrópodos (insectos y arañas) como presas u hospederos para el desarrollo de sus larvas. Ellas paralizan a sus presas antes de la oviposición y algunas especies especializadas pueden construir nidos de barro, nidos de hojas enrolladas o cavidades en el suelo, en donde encierran el alimento larval con el huevo de la avispa.

Las avispas Apoidea presentes en el Parque Nacional Coiba fueron revisadas recientemente por Cambra & Santos (2000). En el presente trabajo se dan nuevos registros de distribución para doce especies de Apoidea (Crabronidae, Sphecidae) y cuatro especies de Vespoidea (Pompilidae y Rhopalosomatidae), aportando un mayor conocimiento sobre la biodiversidad de avispas en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los 168 ejemplares estudiados fueron colectados en la República de Panamá, entre los años 1991 y 2002. Los especímenes se encuentran depositados en el Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Universidad de Panamá (MIUP).

En resultados y discusión se presenta la siguiente información para cada nuevo registro de distribución: 1) El autor de la especie y año de su descripción; 2) Material examinado, indicando las localidades, fechas de colecta y colector (es), seguido del número y sexo de los especímenes examinados entre corchetes []; 3) Distribución, en donde

se incluyen cualquiera de los siguientes temas: a) número de especies registradas en Panamá, b) especies que podrían encontrarse en Panamá por su distribución, c) número de especies descritas para cada género a nivel mundial o para el neotrópico, 4) Comentarios: método de colecta y variabilidad intraespecífica.

En la sección de material examinado o agradecimientos se utilizan las siguientes abreviaciones: Pmá. = Panamá; PND = Parque Nacional Darién; Est. R. Frío = Estación Rancho Frío; Est. C. de Mono = Estación Cruce de Mono; R. C. = Roberto Cambra; A. S. = Alonso Santos; J. C. = James Coronado; H = hembras; M = machos.

Para las familias de avispas agrupadas en la superfamilia Apoidea se sigue la clasificación utilizada en Amarante (2002), en la cual se reconocen dos familias de avispas para la región neotropical: Sphecidae y Crabronidae. Para las familias agrupadas en la superfamilia Vespoidea se sigue la clasificación utilizada en Gauld & Hanson (1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

APOIDEA:

Sphecidae:

Paradolichurus sp.

Material examinado: Pmá.: Pr. Panamá: Chorrera, correg. Playa Leona, Río Perequete, 18-20 mar 1991, R.C. [52M, 7H]; Cerro Azul, 17 ene 1998, A.S. [1M]; Campana, 25 ene 1986, R.C. [1H]. Pr. Coclé: Antón, Caballero, 3 mar 1987, R. Rodríguez [4H, 6M]; Antón, Juan Díaz, 29 dic 1992, X. Araúz [2M, 2H]; Antón, Tranquilla Norte, mar 1991, R. Rodríguez [9M]. Prov. Los Santos: Peña Blanca, Río Mensabé, 29 mar 1997, R. C. [2H].

Distribución: *Paradolichurus* F. Williams incluye tres especies y una subespecie; ha sido previamente reportado para Estados Unidos, México, Costa Rica y Brasil (Kimsey 1993). Primer registro del género para Panamá. Los especímenes de *Paradolichurus* colectados en Panamá, probablemente representen una especie que no ha sido descrita.

especies se conocen de la región neotropical (Bohart 2000). Sólo se han registrado para Panamá las dos especies citadas en este trabajo sin embargo, las siguientes seis especies tienen distribución en Centro y Sur América, y podrían hallarse en Panamá: *caerulea* R. Bohart, 2000, *colombica* R. Bohart, 2000, *puyo* R. Bohart, 2000, *chrysos* R. Bohart, 2000, *championi* (Cameron 1890) y *densa* R. Bohart 2000.

Clitemnestra densa R. Bohart, 2000

Material examinado: Panamá: Prov. Chiriquí: Paja de Sombrero, El Calabazal, 3 dic 1988, R.C. [1H].

Distribución: especie previamente conocida para México, Costa Rica, Colombia, Brasil y Bolivia (Bohart 2000). Primer registro del género y la especie para Panamá.

Lecrenierus gaspari Leclercq, 1977



Fig. 3.



Fig. 4.

Figs. 34. *Lecrenierus gaspari* habitus, hembras, largo: 9 mm. y 10 mm. Respectivamente.

Material examinado: Panamá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frio, Pirre, 16 nov 2000, 17 ene 2001, R.C., A.S. [1H]; mismos datos pero: 7-16 nov 2000 [1H]; 9-17 abr 2002 [1M].

Distribución: especie previamente conocida para Colombia (Leclercq 1977). Primer registro del género y la especie para Panamá. *Lecrenierus* Leclercq incluye once especies descritas, todas de América del Sur. Hanson & Menke (1995) reportan a *Lecrenierus* para Costa Rica. Adicional a *L. gaspari*, he encontrado ejemplares de una especie nueva en Panamá, Chiriquí, Boquete, la cual será descrita por el Dr. Jean Leclercq.

Comentarios: especímenes de *L. gaspari* pueden presentar variabilidad en la coloración tegumentaria del metasoma, desde totalmente naranja a naranja con negro (Figs. 3, 4).

Miscophus sp.

Material examinado: Pmá: Prov. Coclé: Antón, Tranquilla Norte, 10 mar 1991, R. Rodríguez [16M, 4H]; mismos datos pero: 8-10 ene 1991 [4M, 4H]; Antón, Caballero, mar 1987, R. Rodríguez [5M, 5H]; Antón, Juan Díaz, 29 dic 1992, X. Araúz [1M].

Distribución: el género es cosmopolita, excepto Australasia (Hanson & Menke 1995). Primer registro del género para Panamá. *Miscophus* Jurine incluye cerca de 173 especies descritas (Hanson & Menke 1995). Para la región neotropical se ha descrito una especie: *M. exoticus* Taschenberg, 1870 (Brasil). Adicionalmente, Hanson & Menke (1995) registran una especie para Costa Rica.

Neogorytes albiventris R. Bohart, 2000.

Material examinado: Pmá: Prov. Chiriquí: Fortuna, Div. Continental, 1100m, 9-11 abr 1999, R.C., A.S. [1H].

Distribución: especie conocida previamente sólo por el holotipo de Costa Rica (Bohart 2000). Primer registro del género y de la especie para Panamá. *Neogorytes* R. Bohart incluye seis especies descritas y se distribuye desde Costa Rica hasta Argentina (Bohart 2000).

Nitela bifida Menke, 1969.

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. C. de Mono, 6 feb-4 mar 1993, R.C., J.C. [1H]. Pr. Panamá: Bella Vista, Universidad de Panamá, 9 jul 1999, A.S. [1H].

Distribución: especie previamente conocida para Costa Rica, Colombia, Guyana, Ecuador y Brasil (van Zuijlen 1994). Primer registro de la especie para Panamá.

Nitela intermedia van Zuijlen, 1994

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. C. de Mono, 5-28 feb 1993, R.C., J.C. [1H]; PND, Est. R. Frío, Pirre, 16 nov 2000-17 ene 2001, R.C. [1H].

Distribución: especie previamente conocida para Costa Rica, Trinidad, Ecuador y Brasil (van Zuijlen 1994). Primer registro de la especie para Panamá. *Nitela* Latreille incluye 60 especies de las cuales 16 especies han sido descritas para el neotrópico. Cuatro especies de *Nitela* reportadas para Panamá: *guiana* (Williams 1928), *bifida*, *intermedia* y una especie no determinada, probablemente especie nueva, la cual fue registrada en Cambra & Santos (2000).

Pison aranevorax Menke, 1988

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frío, Pirre, 18-24 ene 2001, R.C. [2M], mismos datos pero: 8 ago-17 oct 2002 [1H]; 30 jul-8 ago 2002 [1M].

Distribución: previamente conocida para Colombia, Ecuador, Perú y Brasil (Menke 1988). Primer registro de la especie para Panamá. Previamente se conocían 14 especies de *Pison* Jurine para Panamá (Cambra & Santos 2000). Con este nuevo registro de *P. aranevorax*, son 15 las especies de *Pison* reportadas para Panamá.

Podagritys fulvohirtus (Cameron 1891)

Material examinado: Pmá: Prov. Chiriquí: Fortuna, Div. Continental, 9-11 abr 1999, R.C., A.S. [1H]; Finca Lerida, Boquete, 1700m, 4-9 sep 1996, A. Rodríguez [1H]; Jurutungo, 1600m, Parque Internac. La Amistad, 30 oct-5 nov 1994, Z. Morales [1M].

Distribución: especie previamente conocida para México, Honduras, Costa Rica y Colombia (Leclercq 1999). Primer registro del género y la especie para Panamá. *Podagritys* Spinola incluye 116 especies de las cuales 78 especies han sido descritas para la región neotropical.

Psenulus mayorum Bohart & Grissell, 1969

Material examinado: Pmá: Prov. Panamá: Ciudad de Panamá, Parque Natural Metropolitano, 6-24 may 1994, V. Rodríguez [5M].

Distribución: especie previamente conocida para Honduras, Costa Rica, Trinidad, Venezuela, Surinam, Brasil (Hanson & Menke 1995; Bohart & Grissell 1969; van Lith 1978). Primer registro del género y la especie para Panamá. *Psenulus* Kohl incluye cerca de 165 especies de las cuales tres han sido descritas para el neotrópico. Dos especies de *Psenulus* presentes en Panamá: *mayorum* y una especie no descrita, la cual fue colectada en Calovébora, Veraguas y en la Estac. Rancho Frío, PND.

Taruma bara Pate, 1944

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frío, Pirre, 30 jul-8 ago 2002, A.S. [2H]. Pr. Veraguas: Sta. Fe, Alto de Piedra, 23-24 mar 1999, A.S. [1H]. Pr. Coclé: P. Nac. O. Torrijos H., El Copé, 26-30 sep 1999, A.S., [1H]. Pr. Bocas del Toro: P. Nac. Humedales de San San, 26-28 oct 1999, A.S. [1H].

Distribución: *Taruma* Pate es un género monotípico que ha sido reportado para México, Costa Rica, Guyana, Perú y Brasil (Amarante 2002). Primer registro del género y la especie para Panamá.

VESPOIDEA:

Rhopalosomatidae:

Liosphex varius Townes, 1977

Fig. 5. *Liosphex varius* habitus, hembra, largo: 9.5 mm.

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frio, Pirre. 16 nov 2000- 17 ene 2001, R.C., A.S. [3H]; mismos datos pero, 9-17 abr 2002 [1H].

Distribución: especie previamente conocida para Estados Unidos, México, El Salvador, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil (Townes 1977; Gauld 1995; Fernández & Sarmiento 2002). Primer registro del género y la especie para Panamá. *Liosphex* Townes incluye dos especies descritas, siendo *L. varius* la única del Nuevo Mundo.

Pompilidae:

Ageniella (Cyrtagenia) fallax (Arle 1947)



Fig. 6. *Ageniella (Cyrtagenia) fallax* habitus, hembra, largo: 9 mm.

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frío, Pirre, 8 ago- 2 oct 2002, R.C., A.S. [1H].

Distribución: especie previamente conocida para Perú, Brasil y Argentina (Evans 1973). Primer registro del subgénero para Centroamérica y de la especie para Panamá. Para Panamá se han reportado siete especies de *Ageniella*: (*Ameragenia*) *anconis* (Banks 1925), (*Priophanes*) *parkeri* (Banks, 1925), (*Ageniella*) *molinoi* (Banks, 1925), (*Ageniella*) *utilis utilis* (Cameron, 1891), (*Ageniella*) *wheeleri* (Banks 1925), *zeteki* (Banks 1925) y (*Cyrtagenia*) *fallax*. En Panamá, *Ageniella* probablemente esté representada por 40 especies o más; número basado en ejemplares de morfo-especies examinados y depositados en la colección del MIUP.

Irenangelus furtivus Evans, 1969

Material examinado: Pmá: Pr. Darién: PND, Est. R. Frío, Pirre, 3-17 oct 2002, R.C., A.S. [1M].

Distribución: especie previamente conocida para Surinam, Guyana y Perú (Evans 1969). Este es el primer registro de la especie para Panamá. *Irenangelus* Schulz incluye doce especies descritas para la región neotropical (Kimsey & Wasbauer 2004). Previamente se conocían para Panamá las cuatro siguientes especies de *Irenangelus* Schulz: *lucidus* Evans, 1969, *ichneumonoides* Ducke, 1908, *evansi* Kimsey & Wasbauer, 2004 y *townesorum* Evans, 1969.

REFERENCIAS

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

Bohart, R. M. 2000. A Review of Gorytini in the Neotropical Region (Hymenoptera: Sphecidae: Bembicinae). *Contributions on Entomology, International*, 4(2): 111-259.

Bohart, R. M. & E. E. Grissell. 1969. New species of Psenini (Hymenoptera: Sphecidae). *The Pan Pacific Entomologist*, 45(3): 216-222.

Cambra, R. A. & A. Santos. 2000. Diversidad de avispas esfécidas (Hymenoptera; Sphecidae) en el Parque Nacional Coiba, Panamá. *Scientia*, 15(1): 47-60.

Evans, H. E. 1969. Studies on Neotropical Pompilidae (Hymenoptera). VII. *Irenangelus* Schulz. *Studia Entomologica*, 12: 417-431.

Evans, H. E. 1973. Studies on Neotropical Pompilidae (Hymenoptera). IX. The genera of Auplopodini. *Psyche*, 80: 212-226.

Fernández, F. & C. E. Sarmiento-M. 2002. A new species of *Olixon* Cameron and two new records of Rhopalosomatidae (Hymenoptera) from Colombia. *Journal of the New York Entomological Society*, 110(3): 365-369.

Gauld, I. D. 1995. Rhopalosomatidae. Págs. 548-552. En: Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds.). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press. 893 págs.

Gauld, I. D. & P. E. Hanson. 1995. The evolution, classification and identification of the Hymenoptera. Págs. 138-156. En: Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds.). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press. 893 págs.

Hanson, P. E. & A. S. Menke. 1995. The sphecid wasp (Sphecidae). Págs. 621-649. En: Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds.). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press. 893 págs.

Kimsey, L. S. 1993. Review of the sphecid genus *Paradolichurus*, and description of a new species (Hymenoptera, Sphecidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 66(2): 245-249.

Kimsey, L. S. & M. S. Wasbauer. 2004. Revision of New World species of the cleptoparasitic pompilid genus *Irenangelus* Schulz (Hymenoptera: Pompilidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 77(4): 650-668.

Leclercq, J. 1977. *Lecrenierus* genre nouveau de Crabroniens sud-américains (Hymenoptera, Sphecidae). *Bulletin des recherches agronomiques de Gembloux*, 12(1-2): 55-70.

Leclercq, J. 1980. Crabroniens d' Amerique latine appartenant aux genres que Vernaon S. L. Pate nomma *Chimila*, *Foxita*, et *Taruma*. *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liège*, 49: 70-83.

Leclercq, J. 1999. Hymenopteres Sphecides Crabroniens d' Amerique latine du genre *Podagritus* Spinola, 1851. *Notes fauniques de Gembloux*, 37: 3-55.

Menke, A. S. 1988. *Pison* in the New World: A Revision (Hymenoptera: Sphecidae: Trypoxylini). *Contributions of the American Entomological Institute*, 24(3): 1-171.

Townes, H. 1977. A revision of the Rhopalosomatidae (Hymenoptera). *Contributions of the American Entomological Institute*, 15(1): 1-34.

Van Lith, J. P. 1978. A Brazilian *Psenulus* (Hymenoptera, Sphecidae, Psenini). *Entomologische Berichten*, 38:91-94.

Van Zuijlen, J. W. A. 1994. The *amazonica* species group of the genus *Nitela* Latreille (Hymenoptera: Sphecidae: Crabroninae). *Zoologische mededelingen*, 68: 249-269.

Vardy, C. R. 1978. A revision of the Neotropical wasp genus *Trigonopsis* Perty (Hymenoptera: Sphecidae). *Bulletin of the British Museum* (Natural History), Entomology series 37: 117-152.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto Co-Manejo del PND-FNU-ANAM, por proveer parte de los fondos para las giras de campo a la Est. R. Frío, PND; a la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá por proveer fondos (#04-05-94-01) para la gira de campo a la Est. C. de Mono, PND; a Diomedes Quintero, Universidad de Panamá, por las sugerencias y comentarios para mejorar el contenido de esta publicación; a Jean Leclercq, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux, Bélgica, por la identificación de los especímenes de *Podagritus* y *Chimila*; a Angel Aguirre, Smithsonian Tropical Research Institute, por facilitarme literatura científica indispensable para completar esta publicación; a Alonso Santos por la

ayuda en el trabajo de campo; a todo el personal de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) que colaboró durante las giras de campo al PND, en especial a Luis Pizarro, Alipio Flaco y Leonardo Bustamante.

Recibido julio de 2004, aceptado mayo de 2005.



RESPUESTA FUNCIONAL DE *Diomus sp.* (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) SOBRE *Aphis craccivora* (HOMOPTERA: APHIDIDAE)

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 Laboratorios Científicos, Lab.116, V.I.P.) Telefax.: 264-8441. e-mail: aguililar24@hotmail.com, demmen@cwpanama.net, dquiros@cwpanama.net

RESUMEN

El estudio de la respuesta funcional del cuarto estadio larval, machos adultos y hembras adultas de *Diomus sp.* (Coleoptera: Coccinellidae) se realizó en condiciones de laboratorio, con densidades de 5, 10, 20, 30, 40 y 60 individuos de *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae). Larvas del cuarto estadio de *Diomus sp.* consumieron mayor número de presas que los machos y hembras en todas las densidades de presas. Los machos consumieron en una densidad de cinco áfidos un número mayor de presas que las hembras, pero a medida que aumentaban las densidades, las hembras consumieron más presas que los machos. El consumo de presas por los diferentes estadios de *Diomus sp.* fue proporcional a las densidades de presas, mientras que el porcentaje del consumo fue inversamente proporcional a las densidades de presas. Estos resultados nos indican que los diferentes estadios de vida del depredador *Diomus sp.* presentaron una respuesta funcional Tipo II de Holling (1959).

PALABRAS CLAVES

Diomus sp., *Aphis craccivora*, relación depredador-presa, respuesta funcional, depredador, Control Biológico.

ABSTRACT

Study of the functional response of the fourth instar larvae and adult males and females of *Diomus sp.* (Coleoptera: Coccinellidae) was conducted using densities of 5, 10, 20, 30, 40 and 60 individuals of *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae). Fourth instar larvae of *Diomus sp.* consumed more prey than males and

females in each prey density. When the prey density was five aphids, males consumed more individuals than females, but as the prey density increased, females consumed more prey than males. Prey consumption by different life stages of *Dionus sp* was proportional to the prey densities, whereas the percentage of prey consumption was inversely proportional to prey densities. These results indicate that different life stages of *Dionus sp.* exhibited a Holling Type II functional response.

KEY WORDS

Dionus sp., *Aphis craccivora*, predator-prey relationship, functional response, predator, Biological Control.

INTRODUCCIÓN

Aphis craccivora es un áfido polífago de muchas plantas, especialmente Leguminosae cultivadas a nivel mundial, tales como *Vigna*, *Phaseolus* y *Arachis* (Quiros 1988).

Esta plaga causa daño directo a las plantas mediante la extracción de savia debido a las altas poblaciones que estos insectos alcanzan. También produce cambios fisiológicos que inducen modificaciones en el metabolismo de las plantas (Cermeli 1987). Sin embargo, el mayor daño lo causan al transmitir casi 30 tipos diferentes de virus vegetales, incluyendo virus no persistentes de frijoles, habichuelas, remolacha Curcubitaceae y Cruciferaeae (Blackman & Eastop 1984), además de virus persistentes al maní, (virus roseta del maní) que es transmitido por las formas aladas y ápteras (Hill 1983).

Los insecticidas usados en la agricultura panameña para el control de áfidos, en diversos cultivos, son del grupo de los organosfosforados, los cuales se caracterizan por una alta toxicidad y por su acción sistémica (Espinosa 1987). La aplicación indiscriminada de estos insecticidas en los diferentes cultivos para el control de esta plaga, trae como consecuencia daños ambientales y a la salud humana (Aguilar 2004).

Una alternativa para el manejo de esta plaga es el uso de depredadores como agentes de control biológico. Esto implica el descubrimiento, identificación y estudio adecuado de aquellas especies de insectos depredadoras de *A. craccivora* que puedan ser empleadas exitosamente (Aguilar 2004).

Aunque se han reportado varias especies de insectos como depredadores de *A. craccivora* en América Central, existen muy pocos estudios básicos sobre su biología y capacidad de depredación que permitan considerar su uso como agentes de control biológico (Saunders et al., 1998).

La respuesta funcional es un componente básico para iniciar un estudio de control biológico, ya que la misma se define como la relación existente entre el número de presas consumidas por el depredador y la densidad de la presa (Solomon 1949). El nivel de control por depredadores depende del número de depredadores por presas y su habilidad para buscar, manejar y consumir las mismas (O'Neil 1989).

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de *Diomus sp.* como depredador de *A. craccivora*, a través de su respuesta funcional bajo condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una colonia de *A. craccivora* sobre frijol chiricano (*Vigna unguiculata*) en el invernáculo del Laboratorio de Estudios Biológicos de Plagas Agrícolas. Adultos de coccinélidos del género *Diomus sp.* fueron colectados en el campo y colocados dentro de cajas colapsables de aluminio que contenían a su vez, las plantas de frijol con *A. craccivora*. Esto se hizo con el fin de que hembras y machos adultos de *Diomus sp.* se alimentaran y copularan. Los adultos apareados de estos coccinélidos fueron extraídos de las cajas colapsables por medio de un aspirador entomológico y luego transferidos a una caja de madera forrada con plástico y muselina la cual fue llevada al laboratorio. En su interior, esta caja contaba con plantas de *Vigna unguiculata* previamente infestadas con *A. craccivora* para que los depredadores siguieran alimentándose y las hembras grávidas ovipositaran y produjeran larvas y adultos con el fin de llevar a cabo los experimentos de depredación.

La colonia de *Diomus sp.*, así como cada uno de los experimentos desarrollados en este estudio, fueron mantenidos en una cámara bioclimática de crecimiento (Fig. 1) con temperaturas de 26 ± 1 °C (diurna) y 22 ± 1 °C (nocturna), con un fotoperíodo de 14h L: 10h O.

Por medio de un aspirador entomológico, se colectaron individuos machos y hembras de la colonia de *Diomus sp* y se colocaron en parejas dentro de cámaras de apareamiento y oviposición (Fig. 2). Las cámaras eran de material plástico transparente de 9 cm de alto y 7.5 cm de diámetro. En su interior se contaba con una base de papel filtro humedecido para mantener la humedad relativa en el medio, así como hojas y tallos de frijol infestadas con diferentes estadios ninfales de *A. craccivora* para que los coccinélidos se alimentaran y pudieran colocar los huevos sobre una superficie natural. La parte superior de las cámaras estuvieron cubiertas con muselina sujetadas con una banda elástica. Las hojas y tallos que presentaban huevos se colocaron en nuevas cámaras para que estos se desarrollaran. Las larvas que emergieron fueron agrupadas en otras cámaras para que completaran el ciclo de vida hasta la etapa adulta. Todas las cámaras de observación fueron ubicadas dentro de la cámara bioclimática de crecimiento.



Fig. 1. Cámara de cría de *Diomus sp.*, dentro de la cámara bioclimática.

Fig. 2. Cámara de observación de apareamiento y oviposición de *Diomus sp.*

Para las observaciones de respuesta funcional, se utilizaron larvas del cuarto estadio debido a que el tiempo de duración de la larva del primer al tercer estadio es muy corto. Las larvas fueron sometidas a un período de inanición de solo 12 horas, ya que si se esperaba mayor tiempo para iniciar el experimento, estas larvas podrían haber cambiado a la etapa de prepupa, en la cual las larvas del cuarto estadio secretan un líquido pegajoso por el último segmento corporal además de que pierden movilidad y capacidad para alimentarse. Los adultos se mantuvieron durante 24 horas sin alimentarse.

Tanto las larvas del cuarto estadio como los adultos hembras y machos, se colocaron individualmente dentro de platos Petri de plástico de 8.5 cm de diámetro (“arena de depredación”) que contenían una base de papel filtro y hojas de frijol frescas en las cuales se colocaron diferentes densidades de áfidos (5, 10, 20, 30, 40 y 60) del tercer y cuarto estadio ninfal. Se hicieron 10 réplicas con larvas de *Diomus sp.* del cuarto estadio y 10 réplicas con adultos de cada sexo, por cada densidad de presa. El procedimiento para observar la respuesta funcional en *Diomus sp.* bajo condiciones de laboratorio, fue tomado y adaptado de Ofuya & Akingbohunge (1988) y Omkar & Srivastava (2003).

Las larvas y adultos permanecieron en sus respectivos sistemas durante 24 horas y solo fueron utilizados una vez. Terminado el período de depredación se reportó el número de áfidos consumidos por los depredadores en 24 horas. Los datos de las curvas de respuesta

funcional para cada estadio de vida del depredador fueron transformados a logaritmo de base 10 con el fin de obtener una relación lineal entre la densidad de presas y la densidad de presas consumidas. Con los datos transformados, se llevaron a cabo análisis de regresión lineal a partir de los valores para observar el grado de relación entre las dos variables mencionadas.

La colección "voucher" de *Diomus sp* y de *Aphis craccivora* se depositó en la colección de referencia del Laboratorio de Estudios Biológicos de Plagas Agrícolas de la Universidad de Panamá (LEBIOPA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Encontramos que a medida que la densidad de *A. craccivora* aumentaba de cinco a 60 individuos, el consumo de presa por las larvas de *Diomus sp* del cuarto estadio, se incrementaba de 4.6 a 16.7 áfidos, con reducción en la tasa de consumo entre 92 a 27.83% (Cuadro 1). En los adultos, el consumo de presas por los machos se incrementó de 3.1 a 8.2 áfidos y la tasa de consumo disminuyó de 62 a 13.66 %; de igual manera el consumo de presas por las hembras aumentó de 2.6 a 8.5 con una reducción de la tasa de presas consumidas de 52 a 14.17%.

Cuadro 1. Consumo de presas (promedio \pm DE) y porcentaje de consumo del cuarto estadio larval y adultos (machos y hembras) de *Diomus sp.* ante diferentes densidades de la presa (*A. craccivora*).

Densidad de presa	Cuarto Estadio		Machos		Hembras	
	Nº Consumido	% de Consumo	Nº Consumido	% de Consumo	Nº Consumido	% de Consumo
5	4.6 \pm 0.97	92.00%	3.1 \pm 1.97	62.00%	2.6 \pm 1.65	52.00%
10	7.5 \pm 1.58	75.00%	3.7 \pm 1.49	37.00%	4.3 \pm 2.08	43.00%
20	11.2 \pm 2.20	56.00%	4.6 \pm 2.27	23.00%	5.3 \pm 2.21	26.50%
30	12.1 \pm 2.69	40.33%	4.8 \pm 1.50	16.00%	7.0 \pm 1.89	23.00%
40	14.3 \pm 1.77	35.75%	5.8 \pm 2.3	14.50%	6.7 \pm 3.59	16.75%
60	16.7 \pm 4.52	27.83%	8.2 \pm 3.01	13.66%	8.5 \pm 4.09	14.17%

En el Cuadro 1 se observa que el consumo de presas por los diferentes estadios de *Diomus sp.* se incrementó a medida que aumentaba la

densidad de las mismas, mientras que el porcentaje de consumo de estas presas disminuía con su aumento. Este patrón de conducta de depredación se ajusta al modelo Tipo II de respuesta funcional de Holling (1959). Este tipo de respuesta funcional también nos indica que los depredadores (en sus diferentes estadios) llegan a un punto donde dejan de alimentarse, porque se encuentran completamente saciados. Resultados similares fueron encontrados en los estudios de respuesta funcional de Morales & Burandt (1985), donde larvas del primer estadio y los adultos (machos y hembras) de *Cycloneda sanguinea* depredaban diferentes densidades de *Toxoptera citricida*. De igual forma Ofuya & Akingbohunge (1988), encontraron resultados parecidos al trabajar con larvas del cuarto estadio y adultos de *Cheilomenes lunata* (depredador) y *A. craccivora*. Veeravel & Baskaran (1997) y Agarwala et al. (2001), obtuvieron resultados bastante similares al observar hembras de *Coccinella transversalis* y *Cheilomenes sexmaculatus* depredando a *Aphis gossypii*, y hembras de *Menochilus sexmaculata* depredando a *A. craccivora*.

Los análisis de regresión lineal entre el logaritmo de la densidad de áfidos y el logaritmo del número de áfidos consumidos por el cuarto estadio larval, hembra y macho adultos presentaron una relación lineal significativa donde el valor del coeficiente de regresión (r) obtenido por el cuarto estadio larval, hembra y macho adultos de *Diomus sp.* fue de 0.96, 0.95 y 0.98, respectivamente (Fig. 3, 4, 5).

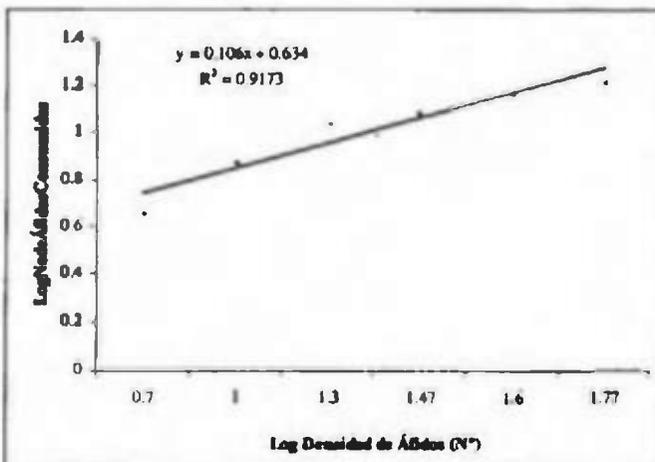


Fig. 3. *Aphis craccivora* consumidos por larvas del cuarto estadio de *Diomus sp.* a diferentes densidades de presas ($P < 0.001$, $r = 0.96$).

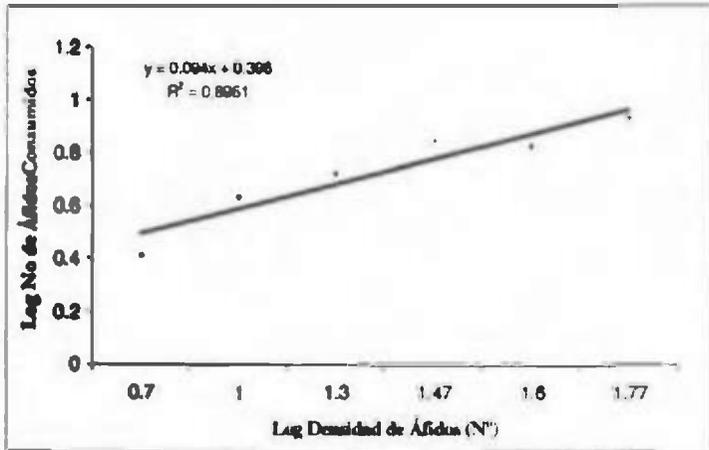


Fig. 4. *Aphis craccivora* consumidos por hembras adultas de *Diomus* sp. a diferentes densidades de presas ($P < 0.001$, $r = 0.95$).

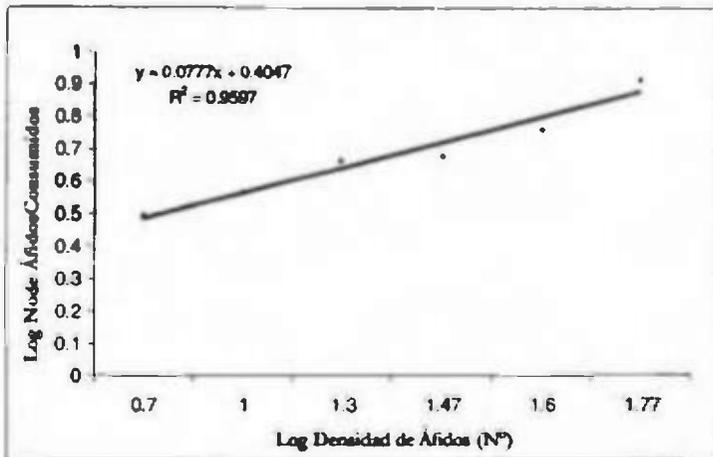


Fig. 5. *Aphis craccivora* consumidos por adultos machos de *Diomus* sp. a diferentes densidades de presas ($P < 0.001$, $r = 0.98$).

Larvas del cuarto estadio de *Diomus* sp. consumieron más presas que las hembras y machos adultos en todas las densidades de presa (Cuadro 1). Resultados similares fueron encontrados por (Omkar & Srivastava 2003), donde larvas del cuarto estadio de *Coccinella septempunctata* consumieron mayor número de presas de *Lipaphis*

erysimi que los adultos machos y hembras. Según Vohaland (1996), el máximo consumo de presas por larva del cuarto estadio en comparación a los adultos (machos y hembras), puede deberse a que ésta es más eficiente detectando la presa y de ese modo, consume grandes proporciones de la misma. Omkar & Srivastava (2001a), reportaron que las larvas de cuarto estadio posiblemente consumen mayor cantidad de presas que los adultos porque requieren mucho alimento para poder pasar a la etapa de pupa. Omkar & Srivastava (2001b), han reportado que los olores de la presa (kairomonas) son atractivos para los depredadores y éstos son percibidos más eficientemente por las larvas del cuarto estadio.

Todos estos factores podrían explicar la elevada habilidad de depredación de las larvas de cuarto estadio. Según Frazer (1988b), los coccinélidos adultos invierten poco tiempo en la búsqueda de sus presas, debido a que realizan otras actividades. (Fig. 6).

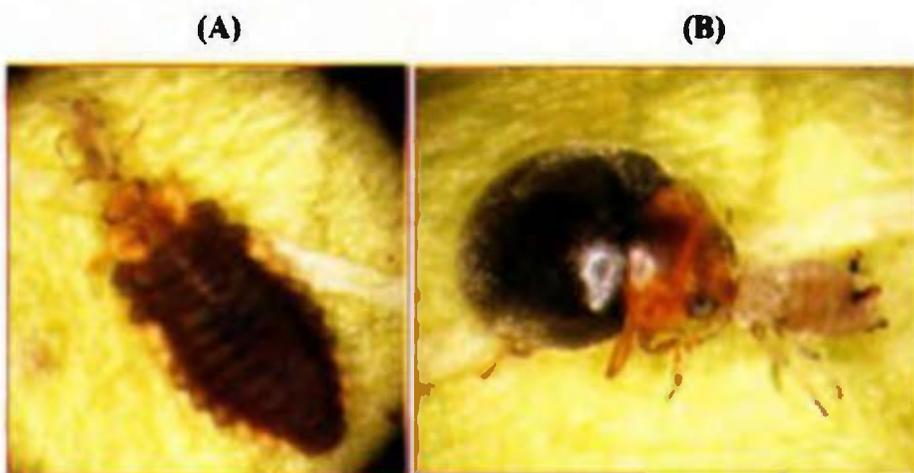


Fig. 6. Proceso de alimentación (depredación) en larvas y adultos de *Diomus sp.* Larva del cuarto estadio (A), y adulto (B), consumiendo ninfas del áfido del frijol, *Aphis craccivora*.

Cuando adultos de *Coccinella undecimpunctata* permanecieron 12 horas sin alimento antes de comenzar la búsqueda de la presa, el 90% de estos individuos se encontraron inactivos en el campo por algún tiempo (Frazer & Gilbert 1976). Mills (1982a), observó en un

experimento realizado en el laboratorio, que el 49 % de los adultos de *Adalia bipunctata* (Coccinellidae) frente a altas densidades de la presa (*Eucallipterus tiliiae*), se encontraban inactivos, 29% buscaban su presa, 10% se alimentaban y 12% copulaban u ovipositaban. Sin embargo, hembras de *Scymnus levaillanti* y *Cheilomenes lunata*, consumieron un mayor número de presas que las larvas del cuarto estadio y los adultos machos, en todas las densidades estudiadas (Uygun & Atlihan 2000; Ofuya & Akingbohunge 1988).

El consumo de presas por los machos de *Diomus sp.*, fue mayor que el de las hembras (en presencia de una densidad de cinco áfidos), mientras que en las otras densidades estas (las hembras), consumieron mayor número de áfidos que los machos (Cuadro 1). Frente a una densidad de 60 áfidos, la hembra adulta de *Diomus sp.*, consumió un máximo de 8.5 áfidos. Mills (1982 a), encontró que densidades superiores a nueve áfidos/100 cm², son suficientemente abundantes para saciar a las hembras adultas de *Adalia bipunctata* ya que pasan muchos días en pausa digestiva ("starvation"), para producir un máximo número de huevos. Hemptinne et al. (1996), realizaron un estudio con esta misma especie, pero esta vez depredando a *Acyrtosiphon pisum* y encontraron que frente a una densidad de 20 áfidos /día/150cm², las hembras consumían un promedio de ocho áfidos por día y los machos un promedio de dos áfidos por día. Estos resultados se podrían atribuir al tamaño y la alta energía y nutrientes que requiere la hembra para el proceso de reproducción (Rhamhalinghan 1987). El macho adulto en este sentido consume menos áfidos, ya que utiliza su tiempo y energía en buscar a la hembra para copular (Omkar & Srivastava 2001a).

Según Omkar & Srivastava (2003), estos resultados pudieron estar influenciados por fenómenos simultáneos tales como tiempo de exposición de la presa, el tiempo de búsqueda y el nivel de hambre de los depredadores.

En una alta densidad de presa, probablemente el contacto entre las presas y el depredador es frecuente, lo que produce la reducción del tiempo de búsqueda, incrementando el consumo de presa (Omkar & Srivastava 2003). Según Omkar & James (2001), un depredador hambriento ataca violentamente y devora completamente casi todas las presas que se encuentran a una baja densidad y cuando se ha saciado,

el consumo eficiente disminuye. Un depredador saciado puede mostrar un descenso en el porcentaje de consumo de presas en altas densidades porque posiblemente gasta más tiempo en manejar la presa y debido a esto la tasa de captura disminuye (Mills 1982 b). Además del estado de hambre que presenten los depredadores, la temperatura es otro factor que limita la efectividad de los coccinélidos ya que la voracidad de estos en altas densidades de áfidos es afectada negativamente cuando la temperatura es baja (Frazer 1988a).

Según O'Neil (1989), los estudios de respuesta funcional realizados bajo condiciones de laboratorio con *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomide), demostraron que la tasa de ataque se incrementaba, mostrando una respuesta funcional tipo II. Estos resultados sugieren que, probablemente, fue el tiempo de búsqueda el factor que limitó la tasa de ataque, mientras que la respuesta funcional realizada en el campo fue más compleja mostrando que la forma de la curva se daba en función de la densidad de presa y la búsqueda realizada por los depredadores.

CONCLUSIONES

Las larvas del cuarto estadio y adultos (machos y hembras) de *Diomus* sp., exhibieron una respuesta funcional Tipo II de Holling (1959), dado el grado de relación lineal significativamente alto observado entre las variables estudiadas (número de presas consumidas y densidad de presas).

Las larvas del cuarto estadio de *Diomus* sp. consumieron mayor número de áfidos que machos y hembras adultos en todas las densidades experimentadas.

Las hembras de *Diomus* sp. consumieron ligeramente mayor número de presas que los machos debido, probablemente, a que éstas necesitan más energía y nutrientes para el proceso de reproducción.

Es importante realizar un estudio de respuesta funcional de *Diomus* sp. en el campo, como un factor importante para evaluar su potencialidad como depredador de *A. craccivora*. En este estudio de campo deberán tomarse en consideración otros aspectos tales como la arquitectura y etapas fenológicas de la planta, grado de dispersión del depredador, microclima en donde se desenvuelve el depredador y la presa, etc.

REFERENCIAS

Agarwala, B.K., P. Bardhanroy, H. Yasuda & T. Takizawa. 2001. Prey consumption and oviposition of the aphidophagous predator *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae) in relation to prey density and adult size. *Environ. Entomol.* 30 (6): 1182-1187.

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.

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

Cermeli, M. 1987. Control de áfidos plagas en Venezuela. 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. 20-35 pp.

Espinosa, J. 1987. Afidocidas de empleo en la agricultura panameña. 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. 43-46 pp.

Frazer, B.D. 1988a. Predators. En *Aphids: their biology, natural enemies and control.* Vol. 2B, ed by A.K. Minks & P. Harrewijn, Amsterdam: Elsevier. 217-230 pp.

Frazer, B.D. 1988 b. Coccinellidae. En *Aphids: their biology, natural enemies and control.* Vol. 2B, ed by A.K. Minks & P. Harrewijn,. Amsterdam: Elsevier. 231-247 pp.

Frazer, B.D. & N. Gilbert. 1976. Coccinellids and aphids: A quantitative study of the impact of adult lady-birds (Coleoptera: Coccinellidae) preying on field populations of pea aphids (Homoptera: Aphididae). *J. Entomol. Soc. Br. Columbia.* 73: 33-56.

Hemptinne, J.L., A.F.G. Dixon & G. Lognay. 1996. Searching behavior and mate recognition by males of the two spot ladybird beetle, *Adalia bipunctata*. *Ecological Entomology* 21: 165-170.

Hill, D. S. 1983. *Agricultural insect pest of the tropics and their control*. Cambridge University Press, Cambridge. 200 pp.

Holling, C.S. 1959. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the european pine sawfly. *Canadian Entomologist*. 91: 293- 320.

Mills, N.J. 1982 a. Voracity, cannibalism and coccinellid predation. *Ann. of Appl. Biol.* 101: 144-148.

Mills, N.J. 1982 b. Satiation and the functional response: A test of a new method. *Ecol. Entomol.* 7 (3): 305-316.

Morales, J. & C.L. Burandt JR. 1985. Interactions between *Cycloneda sanguinea* and the brown citrus aphid: adult feeding and larval mortality. *Environ. Entomol.* 14: 520-522.

Ofuya, T. I. & A.E. Akingbohunge. 1988. Functional and numerical response of *Cheilomenes lunata* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae). *Insect Sci. Applic.* 9 (4): 543-546.

Omkar & B.E. James. 2001. Predation efficacy of the ladybeetle, *Coccinella transversalis* Fabricius in relation to certain aphids. *Biol. Memoirs.* 27 (1): 20-26.

Omkar & S. Srivastava. 2001a. Comparative predatory potential of a ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* Linn. on six prey species. *Biol. Mem.* 27 (2): 59-63.

Omkar & S. Srivastava. 2001b. Ovipositional preference of *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coccinellidae: Coleoptera). *J. Aphidol.* 15: 5-18.

Omkar & S. Srivastava. 2003. Functional response of the seven-spotted lady beetle, *Coccinella septempunctata* Linnaeus on the mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach). *Insect Sci. Applic.* 23 (2):149-152.

O'Neil, R.J. 1989. Comparasion between laboratory and field measurements of the functional response of *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). J. Kans. Entomol. Soc. 62:148-155.

Quiros, D.I. 1988. Áfidos (Homoptera: Aphididae) de Panamá. Tesis de Maestría en Ciencias (Entomología). Universidad de Panamá. 318 pp.

Rhamhalinghan, M. 1987. Seasonal variations in ovarioler output in *Coccinella septempunctata* L. (Coleptera: Coccinellidae). In: Palanichamy S. (ed): Proc. 5th Indian Symposium Invert. Repord., P.G. and Res. Dept. Zool., A.P.A. College of Arts and Culture, Palani, India. Pp. 149-157.

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.

Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal populations. J. Anim. Ecol. 18: 1-35.

Uygun, N. & R. Atlihan. 2000. The effect of temperature on development and fecundity of *Scymnus levaillanti*. BioControl. 45 (4): 453-462.

Veeravel, R. & P. Baskaran. 1997. Functional and numerical response of *Coccinella transversalis* Fab. and *Cheilomenes sexmaculata* Fab. Feeding on the melon aphid, *Aphis gossypii* Glov. Insect Sci. Applic. 17 (3-4): 335-339.

Vohland, K. 1996. The influence of plant structure on searching behaviour in the ladybird, *Scymnus nigrinus* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 93: 151-160.

Recibido mayo de 2004, aceptado junio de 2005.



MODELOS GEO-ELÉTRICOS DOS AQUÍFEROS DE CHAME - BEJUCO, REPÚBLICA DE PANAMÁ

Abel Carrasquilla

Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Prédio da Escola Técnica de Macaé, Rodovia Amaral Peixoto, Km 164, Imboacica. CEP: 27.973-030. Macaé - RJ - Brasil. Fone/Fax: 024-762-6565. email: abel@lenep.uenf.br; <http://www.lenep.uenf.br/~abel/> Anteriormente DFS-IDAAN.

ABSTRACT

Chame - Bejuco region is located 60 km SW of Panama City and has approximately 10 km². The geology of this area presents layers of sand, alluvium, ashes and volcano rocks. This volcano material presents little fractures and cracks, thus, the principal aquifers are constituted by conglomerate and sands. The Groundwater Department of the National Institute of Aqueducts and Sewerages of the Republic of Panama (DFS/IDAAN) drilled 17 wells in this area and performed 59 vertical electrical soundings (VES) in 1986, both with hydrogeological purposes. These data were interpreted using one, bi and three-dimensional models. The used algorithms were 1D forward and inverse with ridge regression approaches; 2D inverse scheme known as smoothness-constrained least-squares with the forward problem using numerical techniques as finite differences and finite elements; and, 3D forward problem with optimized finite differences. Based on these interpretations, the VES were classified in four types of curves, which reveal that the first and third family of curves present highly resistive layers that correspond to conglomerate and sand horizons, respectively. Also, resistivity profiles and contour maps reveal an average thickness of 80 m for the main sand aquifer, located in the depression where the resistive basement form in the N part of the area, and, 150 m for conglomerate aquifer in the W sector. The geo-electrical sections, the numerical modelling and the pumping well tests of the boreholes show us that the N sector is the best to drill boreholes, with the W sector in the second place. For this reason, in this work we chose the N sector to drill more wells, where the well No.18 was drilled and became the best of the area with 150 gpm.

KEYWORDS

Chame, Bejuco, resistivity, inversion, geoelectrical sections, stratigraphic section.

RESUMO

A região Chame-Bejuco, na República de Panamá, possui uma geologia recente com camadas de areia, aluvião e cinzas vulcânicas, sobre um embasamento basáltico. Como o cristalino se apresenta pouco fraturado, os sedimentos sobrepostos possuem as melhores potencialidades aquíferas. Com o objetivo de abastecer de água potável à população, o "Departamento Fuentes Subterráneas" do "Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales" (DFS/IDAAN) perforou 17 poços no local, e, em 1986, realizou 59 sondagens elétricas verticais (SEV) para conhecer melhor a hidrogeologia. Essas SEV foram correlacionadas com a informação geológica e interpretadas com modelos unidimensionais (1D), sendo a confiabilidade dos ajustes testada através da estatística do processo de inversão *ridge regression*. Da mesma forma, as SEV foram classificadas em quatro famílias, com a primeira e terceira delas possuindo camadas resistivas de conglomerado e areia, as quais funcionam como os principais aquíferos da região. As interpretações também foram utilizadas na construção de mapas da profundidade do embasamento e da espessura do aquíferos, os quais revelam uma espessura de até de 80 m para a camada de areia localizada numa depressão no setor N, e de até 150 m para o conglomerado, no setor W. Por outro lado, as seções geo-elétricas nas direções N-S e E-W revelam a presença de estruturas bi (2D) e tridimensionais (3D) nos setores W e N, respectivamente. A heterogeneidade 2D foi modelada com o algoritmo inverso *smoothness-constrained least-squares*, que utiliza as técnicas numéricas das diferenças finitas (DF) ou elementos finitos (EF) para o problema direto. A estrutura 3D foi modelada com uma abordagem direta que usa DF otimizadas. Os resultados alcançados neste estudo e os testes hidráulicos, indicam que a camada de areia da estrutura 3D se constitui no principal aquífero, com a de conglomerado no final da estrutura 2D, apresentando interesse secundário. Assim, o setor N se constitui no melhor local para a realização de perfurações, como mostra o último poço aí furado, que foi indicado por este estudo e possui a maior vazão na região.

PALAVRAS CHAVES

Chame, Bejuco, resistividade, inversão, seções geo-elétricas, registro estratigráfico.

INTRODUÇÃO

Uma área de 10 km² foi estudada na região de Chame-Bejuco, localizada num setor da República de Panamá conhecido como "Arco Seco", a 60 km ao SW da Cidade do Panamá (Fig. 1). Este setor se caracteriza por possuir um índice pluviométrico anual muito baixo, que junto a uma crescente população local e turística, provoca frequentes problemas no abastecimento de água potável (ECAISA, 1979). Com o objetivo de dar uma solução a este problema, o DFS/IDAAN perforou

17 poços ao longo de vários anos, com resultados apenas regulares. Em 1986, com a finalidade de delimitar os principais aquíferos da área, o DFS executou 59 SEV com o arranjo dipolar *Schlumberger* (Fig. 2). Inicialmente, os dados obtidos foram ajustados com modelos 1D, utilizando um programa desenvolvido por Koefoed (1979), o qual foi implementado nos computadores do Departamento de Física da Universidade de Panamá (DF/UPA). Com os dados geológicos provenientes dos afloramentos, dos mapas geológicos e dos registros litológicos das perfurações, a interpretação das SEV foi aferida, com o uso dos princípios de equivalência e eliminação (Ward 1990). A confiabilidade dos modelos ajustados foi verificada utilizando os parâmetros estatísticos do processo interpretativo inverso para o caso 1D, que usa a técnica *ridge regression*, também conhecida como *dumped least-squares* (Rijo et al., 1977). Com base nesses modelos, as SEV foram classificadas em 4 famílias características e foram construídos mapas de contorno da espessura do aquífero principal e da profundidade do embasamento.

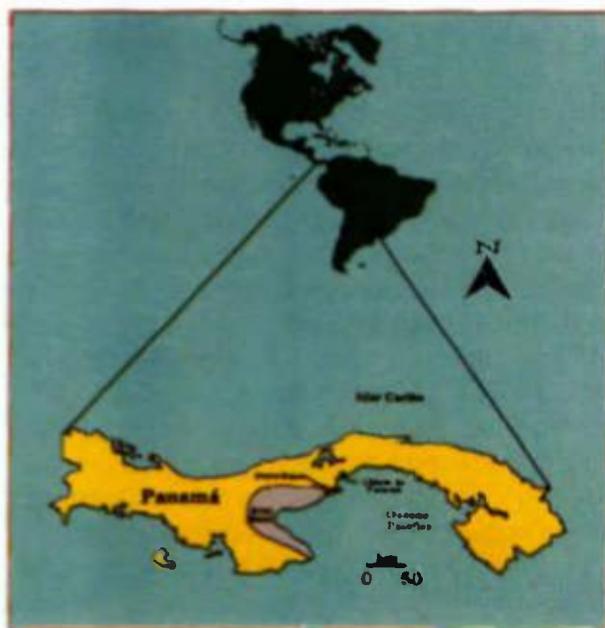


Fig. 1. Localização da região do estudo.



Fig. 2. SEV e poços realizados na região.

Por outro lado, as seções geo-elétricas E-W revelam a presença de uma estrutura 2D, a qual foi modelada num processo inverso 2D que utiliza o algoritmo de inversão *smoothness-constrained least-squares*, no qual o problema direto é calculado com as técnicas numéricas DF ou EF (Loke & Barker 1996a). Da mesma forma, a plotagem conjunta das seções geo-elétricas N-S e E-W mostram a presença de um estrutura 3D, numa depressão que o embasamento faz no setor N da área. Esta estrutura foi modelada com um algoritmo direto 3D que usa DF (Loke & Barker 1996b). Assim, os resultados mostram que a porção N da região estudada apresenta as melhores condições para a realização de perfurações, porque nela está presente uma camada de arcia com até de 80 m de espessura, a qual apresenta as melhores características aquíferas e hidráulicas na região, como mostram os poços aí perfurados. O setor W, no final da estrutura 2D, apresenta uma camada de conglomerado com até 150 m de espessura capaz de armazenar água, mas, as vazões dos poços do setor mostram que ele tem importância secundária (Carrasquilla 1987).

HIDROGEOLOGIA

A região de Chame - Bejuco está localizada numa planície de erosão com topografia suave, cuja geologia recente é constituída de camadas finas de areia, aluvião, cinzas e rochas vulcânicas, que repousam sobre um embasamento cristalino de basalto. Na área encontram-se aluviões e sedimentos não consolidados de idade quaternária, assim como lavas, tobas, aglomerados andesítico-basálticos do terciário (Fig. 3). O embasamento apresenta uma inclinação na direção S, com as cidades de Bejuco e Chame ocupando posições topograficamente mais altas, sendo a área limitada nas direções W e N por elevações de até 100 m, ao S pelo vale fluvial do Rio Chame e ao E pelo Morro Chame com 439 m de altitude. Antes de 1986, o IDAAN perfurou 17 poços nesta área para o abastecimento à população, com muitos dos poços apresentando pobres vazões (Fig. 2). Desses furos, possuímos somente quatro registros estratigráficos, nos quais é possível observar camadas de argila, argila-arenosa, conglomerado, areia (fina e grossa), seixos, cascalho, areia-argilosa, tufo e basalto (Fig. 4). Entretanto, algumas as camadas de conglomerado e areia possuem boas propriedades aquíferas, como se percebe nas excelentes vazões de alguns dos poços construídos (Tabela I).



Fig. 3. Mapa geológico da região.

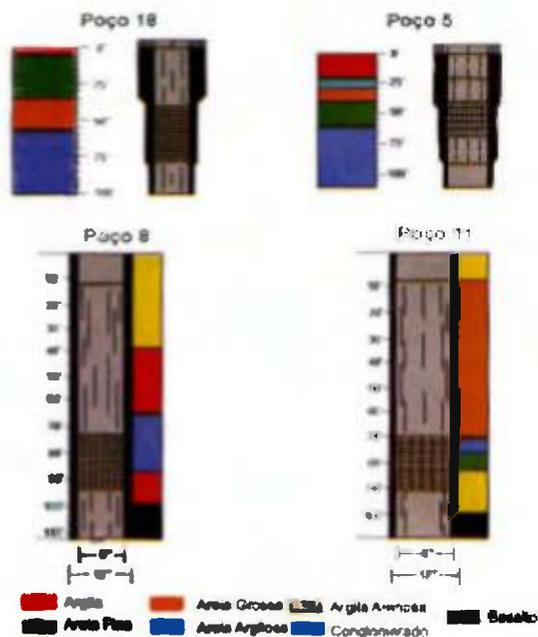


Fig. 4. Perfis litológicos dos poços da região

As informações geológicas resultantes das perfurações, revelam que o embasamento apresenta-se muito sólido, denso e duro, com escasas fraturas, falhas e fissuras, tendo, por conseguinte, pouca porosidade e permeabilidade.

Tabela 1. Vazões dos principais poços da região.

Poço N°	Vazão (gpm)
5	135
8	125
18	155
11	97

Os poços construídos e a abertura de eletrodos de corrente utilizada na prospecção geofísica (de até $AB/2=300$ m), não atravessam o cristalino. De esta forma, consideramos que os sedimentos acima do embasamento são os que apresentam a melhor potencialidade aquífera e se constituem nos recursos hídricos mais importantes para solucionar o problema de fornecimento de água potável à população da região. Como consequência deste trabalho geofísico, foi perfurado o poço No. 18 (Figuras 2 e 4), que se constituiu no melhor da área, hidraulicamente falando (Carrasquilla 1987).

METODOLOGÍA

A equação diferencial a ser solucionada usando o método eletro-resistivo, que equivale a uma fonte 3D de um eletrodo com contato galvânico no chão num meio geológico 3D, é um problema denominado de 3D-3D, o qual se expressa através da seguinte equação de Poisson:

$$-\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho(x,y,z)} \nabla \phi(x,y,z) \right] = \left(\frac{I}{\Delta V} \right) \delta(x-x_0) \delta(y-y_0) \delta(z-z_0) \quad (1)$$

em que (x,y,z) é a distribuição 3D do potencial elétrico, I é a amplitude da corrente, V é a diferença de potencial, (x,y,z) é a distribuição 3D da resistividade do meio, $(x-x_0)(y-y_0)(z-z_0)$ é a função delta 3D de Dirac que representa a fonte pontual e $=(I/x,y/z)$. Nos casos 1D e 2D a distribuição de teria as formas (z) e (x,z) , respectivamente (Ward & Hohmann 1987). No caso de um meio geológico 1D, a solução da Equação (1) para o quadripolo Schlumberger é:

$$\rho_a = \rho_1 + s^2 \int_0^\infty \left[R(\lambda, \vec{P}) - \rho_1 \right] J_1(\lambda s) d\lambda; \quad (2)$$

em que s é a variável de integração, $J_1(s)$ é a função de Bessel de primeira espécie e de ordem um, \vec{P} é o vetor de parâmetros das resistividades (ρ) e espessuras (h) das camadas, $R(\lambda, \vec{P})$ é o núcleo de integração e $s = AB/2$ é a distância do centro do arranjo até os eletrodos de corrente A ou B (Koefoed 1979).

Para problemas geológicos 2D complexos, a Equação (1) só pode ser solucionada de forma numérica com técnicas como EF e DF. Em ambos os casos, o meio geológico é subdividido em elementos

retangulares ou triangulares, em cujos vértices é aproximada a solução da equação diferencial.

$$-\nabla^T \left[\frac{1}{\rho(x,z)} \nabla^T \phi^T(x,k,z) \right] = \left(\frac{I}{\Delta V} \right) \delta(x-x_o) \delta(z-z_o); \quad (3)$$

A forma usual de lidar com este problema 2D-3D é transformá-lo num 2D-2D através da transformada de Fourier, tomando a Equação (1) em:

$$-\nabla^T \left[\frac{1}{\rho(x,z)} \nabla^T \phi^T(x,k,z) \right] = \left(\frac{I}{\Delta V} \right) \delta(x-x_o) \delta(z-z_o); \quad (4)$$

em que $\phi^T(x,k,z)$ é a transformada do potencial elétrico, $\delta(x-x_o)\delta(z-z_o)$ é a função delta 2D de Dirac que representa a fonte pontual e $\nabla^T = (\delta/\delta x, k, \delta/\delta z)$. Com EF, ϕ^T é aproximado por polinômios f^e sobre cada elemento triangular em que o meio é dividido, do tipo:

$$f^e = N_i^e f_i + N_j^e f_j + N_k^e f_k; \quad N_i^e = \frac{(a_i + b_i x + c_i z)}{2\Delta}; \quad (5)$$

em que as N_i são as funções base; f_i são as funções aproximadas em cada vértice; x e z são coordenadas dos vértices; $a_i = x_j z_k - x_k z_j$, $b_i = z_j - z_k$ e $c_i = x_k - x_j$; Δ é a área do triângulo e i, j e k são os vértices do triângulo. Usando o método de Galerkin para minimizar o erro no cálculo do ϕ^T através deste processo, aplicando as condições de contorno e utilizando a solução de algumas integrais características, chega-se as equações matriciais para cada elemento. Com elas, uma equação matricial global $\mathbf{H}\phi = \mathbf{f}$ é composta para toda a seção modelada, a qual é bandeda e esparsa. Para encontrar a solução para ϕ^T , resolve-se o sistema linear $\mathbf{H}\phi = \mathbf{f}$, em que \mathbf{f} é o vetor das fontes e ϕ é o vetor dos potenciais ϕ^T . O potencial ϕ pode ser calculado a partir da transformada inversa de Fourier do potencial ϕ^T (Sasaki 1994).

A solução do problema geológico 3D da Equação (1) é alcançada de uma forma direta e utilizando a técnica DF. Esta equação, depois de discretizar, aplicar as condições de contorno de *Neumann e Dirichlet* e usar o teorema de *Green*, é transformada em:

$$\begin{aligned} & C_{top}^{jk} \phi_{i,j,k-1} + C_{bottom}^{jk} \phi_{i,j,k+1} + C_{left}^{jk} \phi_{i-1,j,k} + C_{right}^{jk} \phi_{i+1,j,k} + C_{front}^{jk} \phi_{i,j-1,k} + C_{back}^{jk} \phi_{i,j+1,k} + C_p^{jk} \phi_{i,j,k} = \\ & I \delta(x-x_o) \delta(y-y_o) \delta(z-z_o); \end{aligned} \quad (6)$$

em que os C , são os coeficientes de acoplamento entre os nós, por exemplo, aquele entre os nós (i,j,k) e $(i,j,k-1)$ tem a forma:

$$C_{top}^{jk} = \frac{-1}{\Delta z_{k-1}} \left[\frac{\Delta x_{i-1} \Delta y_j}{4\rho_{i-1,j,k-1}} + \frac{\Delta x_i \Delta y_j}{4\rho_{i,j,k-1}} + \frac{\Delta x_{i-1} \Delta y_{j-1}}{4\rho_{i-1,j-1,k-1}} + \frac{\Delta x_i \Delta y_{j-1}}{4\rho_{i,j-1,k-1}} \right]; \quad (7)$$

em que ρ é a resistividade da célula; x , y são coordenadas dos nós onde se procura a solução da função; Δx , Δy e Δz são diferenças de coordenadas; as descrições *top*, *bottom*, *front*, *back*, *left* e *right* se referem as faces da célula prismática ou cúbica e C_p é o coeficiente de auto-acoplamento. No caso 2D, os elementos *front* e *back* não existem, assim como as Δy . Uma vez feito isto, calcula-se a integral superficial ou volumétrica em cada elemento 2D ou 3D, formando-se uma equação matricial $\underline{A}\phi = \underline{v}$ para todo o meio modelado, em que \underline{A} é a matriz capacitância, ϕ é o vetor dos potenciais e \underline{v} é o vetor das fontes. O método comum para solucionar este sistema linear é através do método bandedo de Cholesky $\underline{A} = \underline{R}^T \underline{R}$; em que ϕ é determinado para cada vetor fonte \underline{v} por uma substituição direta $\underline{R}^T \underline{q} = \underline{v}$, seguida de uma retro-substituição $\underline{R}\phi = \underline{q}$ (Dey & Morrison 1979).

Para a inversão 1D das SEV, utilizamos a Equação (2) para o problema direto e o processo *ridge regression*, o qual é derivado da técnica dos mínimos quadrados simples:

$$\Delta \bar{P}_i = \left(\underline{A}^T \underline{A} + \epsilon^2 \underline{I} \right)^{-1} \underline{A}^T \Delta \rho_a^{-i}; \quad (8)$$

em que \underline{I} é a matriz identidade, ϵ é o fator de amortecimento, \underline{A} é a matriz sensibilidade, \underline{A}^T é a sua transposta, $\Delta \bar{P}_i$ é a variação entre os parâmetros verdadeiros e os que surgem ao ajustar o mínimo, $\Delta \rho_a^{-i}$ é a variação entre a resistividades observada e calculada pela Equação (2) e i representa o número de iterações (Mejú 1990).

Na inversão 2D dos dados eletro-resistivos, foi utilizado o processo inverso *smoothness-constrained least-squares*, com as técnicas numéricas EF ou DF para solucionar o problema direto. Este método é uma modificação do método Gauss-Newton e tem a expressão:

$$\Delta \bar{P}_i = \left(\underline{A}^T \underline{A} + \lambda \underline{C}^T \underline{C} \right)^{-1} \underline{A}^T \Delta \rho_a^{-i}; \quad (9)$$

em que \underline{C} é um filtro 2D, usado para delimitar a suavização das perturbações do modelo de parâmetros para algum valor constante, \underline{C}^T é seu transposto e λ é o parâmetro de decaimento (Loke & Barker 1996a).

Com base em toda esta metodologia, utilizamos a modelagem 1D direta e inversa, assim como a modelagem 2D inversa e a modelagem 3D direta para simular estruturas geo-elétricas encontradas na região de Chame-Bejuco, sendo os resultados apresentados a seguir.

RESULTADOS

A partir da interpretação 1D das SEV obtidas na área, foi possível dividí-las em quatro famílias características, com a seguinte distribuição geográfica: a primeira família está localizada ao W, a segunda no centro-sul, a terceira no setor central e a quarta ao E (Fig. 5). Para aferir o método geofísico utilizado neste estudo, algumas SEV foram executadas nas vizinhanças das perfurações. Assim, a SEV 1 foi comparada com o poço 5, a SEV 26 com o poço 8 e a SEV 20 com o poço 11 (Fig. 4). A aplicação dos princípios de equivalência e eliminação serviram para ajustar o método para a interpretação do resto das SEV da área. Assim sendo, quanto as camadas geo-elétricas, as SEV apresentam, basicamente, as seguintes (Fig. 6 e Tabela II):

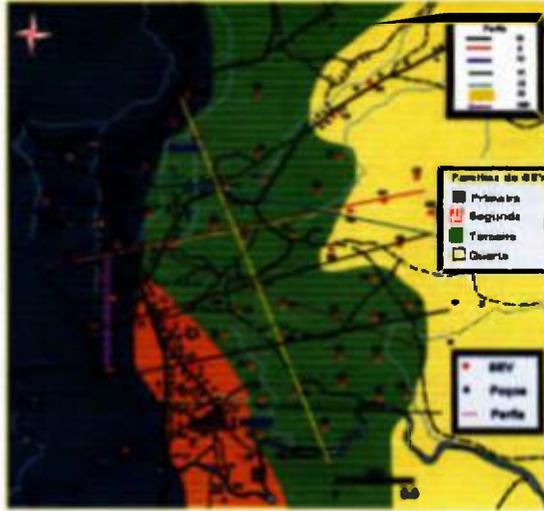


Fig. 5. Famílias de SEV.

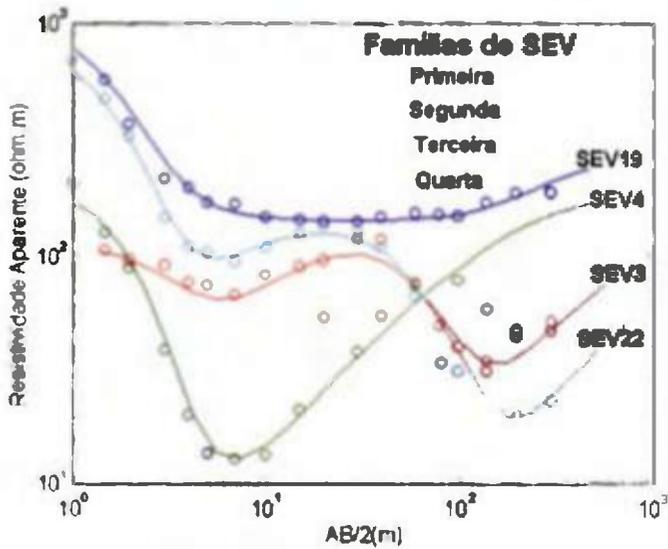


Fig. 6. Famílias características de SEV e suas interpretações 1D.

Tabela II. Estatística da inversão 1D.

SEV	Camada	Modelo Inicial		Modelo Final		Erro Médio (%)		Desvios Padrões (%)		Erro do Ajuste
		$\rho(\Omega.m)$	$h(m)$	$\rho(\Omega.m)$	$h(m)$	ρ	h	$\pm\Delta\rho$	$\pm\Delta h$	%
3	1	110.0	1.5	106.1	1.9	14.3	432.7	15.2	8.27	16.2
	2	40.0	3.0	35.1	2.7	2.0e05	1.6e05	7.0e03	4.3e03	
	3	190.0	20.0	253.1	11.9	9571.4	2.3e04	2.4e04	2.7e03	
	4	20.0	100.0	11.0	42.8	1.7e05	3.3e05	1.9e04	1.4e05	
	5	200.0	—	159.1	—	675.8	—	1.1e03	—	
4	1	200.0	1.0	224.0	0.9	39.7	33.9	88.8	0.3	35.6
	2	10.0	7.0	6.1	2.3	2329.5	2850.7	143.0	66.8	
	3	200.0	—	61.1	—	17.5	—	10.7	—	
19	1	800.0	0.8	913.4	0.7	113.2	9771.4	1.0e03	71.3	21.6
	2	200.0	0.5	154.2	0.6	344.6	762.1	1.5e08	5.8e05	
	3	60.0	2.0	63.2	2.4	3.9e05	159.1	2.4e04	2.4e06	
	4	190.0	20.0	173.2	16.8	143.9	440.8	244.0	73.8	
	5	40.0	35.0	28.4	78.3	340.6	119.4	96.6	7.8e07	
	6	9.0	90.0	9.8	98.9	281.6	441.2	9.9e06	9.9e07	
	7	200.0	—	111.2	—	3816.4	—	1.1e08	—	
22	1	1000.0	0.8	1665.2	0.6	8.6	5.6	143.0	0.0	3.6
	2	200.0	1.0	188.9	2.1	9.5	41.2	18.0	0.9	
	3	140.0	100.0	138.3	54.4	2.3	26.9	3.25	14.7	
	4	300.0	—	207.0	—	7.0	—	14.5	—	

- A primeira é altamente resistiva e equivale ao solo, possuindo resistividades aparentes (ρ_a) geralmente maiores que 100 e 1000 Ωm e espessuras (h) de até 1 m. Esta camada está presente em todas as famílias de curvas.
- A segunda camada é ligeiramente resistiva e, dependendo do local, trata-se de estratos saturados de argila-arenosa ou areia-argilosa por baixo do nível freático, com ρ_a entre 5 e 200 Ωm e h variáveis entre 1 e 100 m. Na quarta família esta camada se estende em profundidade.
- A terceira camada é resistiva, com ρ_a entre 50 e 150 Ωm e h entre os 20 e 50 m, devida a presença do conglomerado (no caso da primeira família) ou areia (no caso da segunda família), os quais são os melhores aquíferos da área, devido a sua boa porosidade e permeabilidade. Esta camada não aparece na quarta família.
- A quarta camada é condutiva e está presente em toda a área, com ρ_a entre 10 e 15 Ωm e h com até 100 m, tratando-se de argila. Nas SEVs da quarta família, esta camada apresenta maior espessura e está embebida de água salgada.
- A quinta camada é resistiva e aparece no ramo terminal das curvas, subindo com um ângulo de 45° de inclinação, apresentando características que nos levam a identificá-la como o embasamento da área. Esta camada aparece em profundidades variáveis e em alguns casos não é detetada, devendo-se localizar em profundidades maiores.

A interpretação 1D foi também usada na plotagem de mapas de contorno da profundidade do embasamento, que usa o ramo terminal ascendente das SEV, e da espessura do aquífero, no qual selecionamos as espessuras das camadas resistivas de areia e de conglomerado. Esses mapas mostram setores onde a espessura do aquífero é maior, com até 80 m para a areia no setor N e 150 para o conglomerado ao W. A profundidade do embasamento também mostra setores ao N e W onde ele é mais profundo, acumula mais sedimentos e são, portanto, os locais preferidos para realizar perfurações (Fig. 7). Para testar a confiabilidade dos ajustes 1D, invertemos uma SEV de cada família, usando os

modelos diretos da Figura 6 como tentativa inicial. A Fig. 8 mostra esses ajustes para uma SEV característica de cada família e na Tabela 2 aparecem os dados estatísticos derivados do processo inverso. As SEV 3 e 4 convergiram com 4 iterações, quanto que as SEV 19 e 22 o fizeram com 5. Na tabela, podemos perceber que a SEV 22 apresenta um bom ajuste, quanto que as outras SEV (3, 4 e 19) apresentam erros altos, o que se reflete em altos erros na resolução dos parâmetros individualmente, em altos desvios padrões, num amplo intervalo de parâmetros que ajustam o mesmo modelo e, obviamente, numa grande ambigüidade na interpretação.

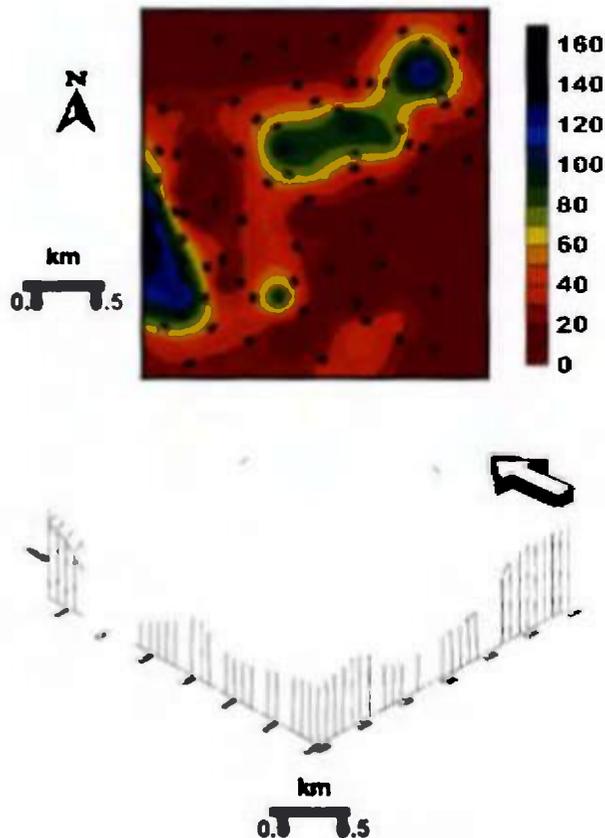


Fig. 7. Mapa da espessura do aquífero (acima) e da profundidade do embasamento (cmbaixo).

Os parâmetros também se mostram altamente correlacionados entre si, o que é um outro impedimento na solução individual dos mesmos. Isto nos encorajou na procura de soluções diferentes do modelo estratificado para interpretar os dados geo-elétricos desta região, a saber, modelos 2D e 3D.

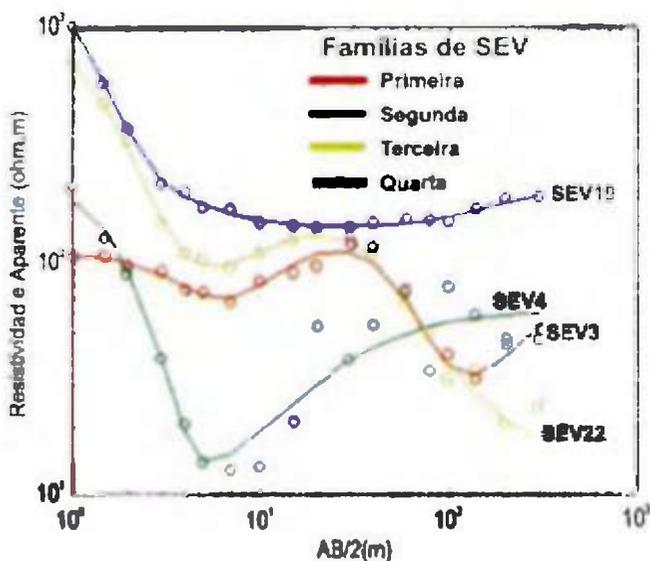


Fig. 8. Modelos 1D ajustados com inversão.

Com a plotagem das seções geoeletricas orientadas no sentido E-W (perfis III, IV, VI e XIII da Fig. 5), foi descoberta uma estrutura 2D aproximada ao W da área. Estas seções mostram a presença de dois setores resistivos no meio (areia) e no final (conglomerado) do perfil, o primeiro é considerado como o aquífero principal e o segundo como secundário (Fig. 9). Utilizando um esquema numérico inverso *smoothness-constrained least-squares*, que usa DF e EF como algoritmos diretos, modelamos a estrutura 2D que aparece no Perfil VI. As Figuras 10 e 11 mostram os resultados desta modelagem, que dá um erro de 16.4% no ajuste para DF e 15.4% para EF.

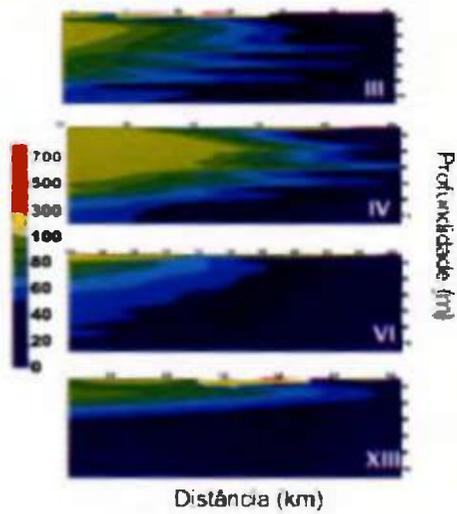


Fig. 9. Seções geolétricas dos perfis III, IV, VI e XIII no sentido E-W.

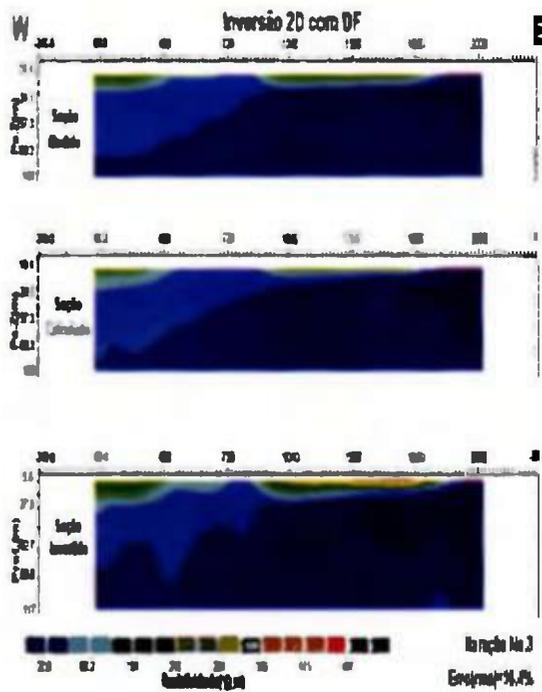


Fig. 10. Inversão do Perfil XIII com diferenças finitas.

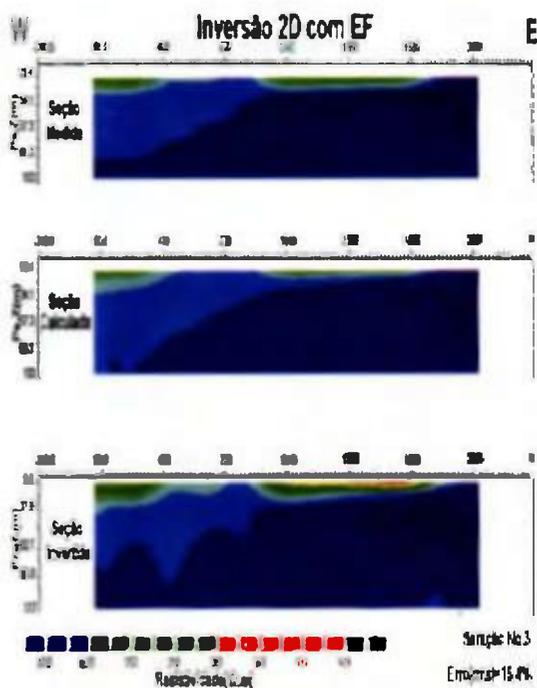


Fig. 11. Inversão do Perfil XIII com elementos finitos.

As seções geolétricas orientadas nos sentidos N-S (perfil XI da Fig. 5) e E-W (perfis II e IX da Fig. 5) mostram uma estrutura 3D ao N da área, na qual aparece um setor com alta resistividade constituído por areia, o qual se constitui no melhor aquífero da área (Fig. 12). Utilizando um esquema numérico direto com DF otimizadas, modelamos esta estrutura. A Figura 13 mostra o modelo 3D de resistividades usado nesta modelagem, com cada visão em planta representando diferentes níveis em profundidade. Na Figura 14 se mostram as seções geolétricas calculadas na direção E-W e na Figura 15 na direção N-S. Note-se a semelhança das seções modeladas com as seções geolétricas reais da Figura 12.

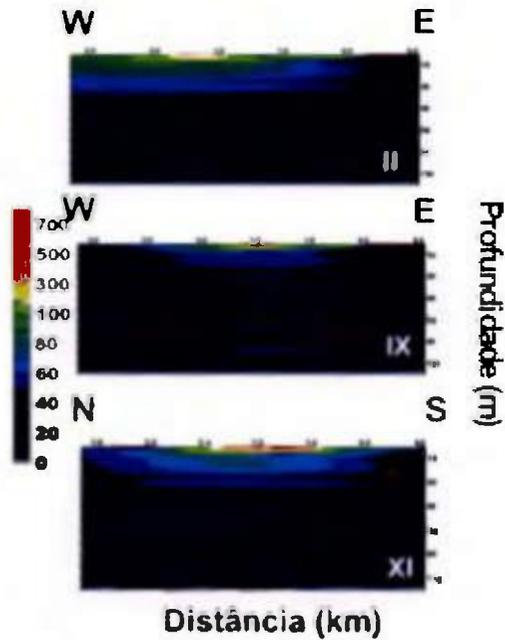


Fig. 12. Seções geo-elétricas dos perfis II, IX, no sentido E-W, e XI, no sentido N-S.

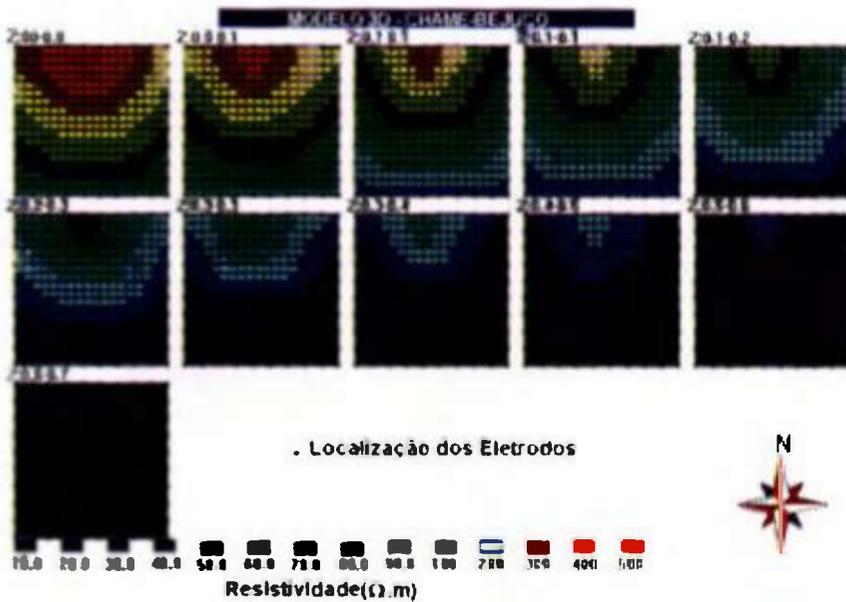


Fig. 13. Modelo da heterogeneidade 3D.

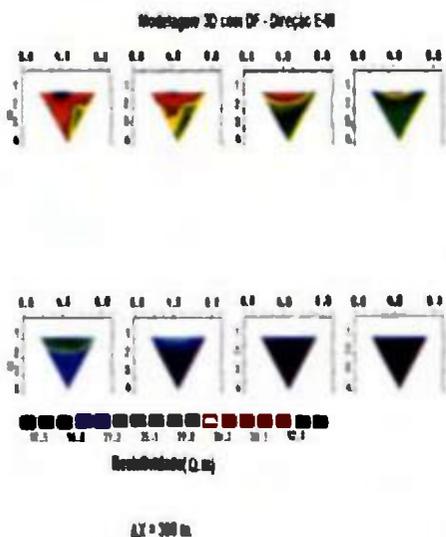


Fig. 14. Seções geo-elétricas calculadas na direção X.

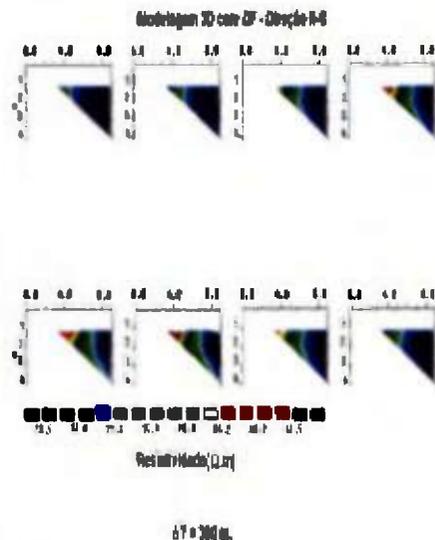


Fig. 15. Seções geo-elétricas calculadas na direção Y.

CONCLUSÕES

O conjunto das informações hidráulicas, geológicas e geofísicas obtidas na região estudada, nos permitem afirmar que os melhores aquíferos se constituem de camadas de areia ou de conglomerados, que estão a profundidades menores que 200 m e possuem uma espessura de até 80 metros, na porção central, e de até 150 m, na porção W. É bem conhecida a alta permeabilidade e porosidade destas camadas e, portanto, suas excelentes qualidades para atuar como aquíferos. Por tal razão, recomendamos a área N como a mais apropriada para a realização de perfurações, na qual o embasamento apresenta uma depressão e onde está presente essa camada de areia, que atua como o melhor aquífero. Os limites desta área foram colocados em base aos mapas da espessura do aquífero e da profundidade do embasamento, à presença da camada resistiva da terceira família, como também das seções geo-elétricas e as modelagens 1D, 2D e 3D, as quais originaram as seções geo-elétricas modeladas. É verdade que a área da primeira família apresenta uma camada de conglomerado que pode atuar como aquífero, a qual também aparece no final das seções geo-elétricas E-W e que também foi modelada, mas esta é menos atrativa, provavelmente devido à cimentação argilosa dos seixos do conglomerado. Isto se

mostra claramente nas perfurações executadas, cujas vazões são menores no setor W que aquele setor indicado no setor N. Como resultado deste estudo, foi perfurado um último poço (No. 18), o qual se constitui no melhor da região, com vazão de mais de 155 galões por minuto.

REFERÊNCIAS

Carrasquilla, A. 1987. Geofísica para Aguas Subterráneas en Chame - Bejuco. Departamento Fuentes Subterráneas, IDAAN. Reporte Interno. Chiré, 150 p.

Dey, A. & Morrison, H.F. 1979. Resistivity modeling for arbitrary shaped three-dimensional structures. *Geophysics*, 44, 753-780.

ECAISA - Engineering Science. 1979. Estudio de factibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillados para las ciudades de Las Tablas, Guararé, Bejuco, Chame y Nueva Gorgona. Reporte Interno. Ciudad de Panamá, 150 p.

Koefoed, O. 1979. *Geosounding Principles I, Resistivity Sounding Measurements*. Elsevier, Amsterdam, 276 p.

Loke, M.H. & Barker, R.D. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Loke, M.H. & Barker, R.D. 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical prospecting*, 44, 499-523.

Mejú, M. 1994. *Geophysical data analysis: understanding inverse problem theory and practice*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa. 296 p.

Rijo, L.; Pelton, W.H., Feitosa, E.C.; Ward, S.H. 1977. Interpretation of apparent resistivity data from Apodi Valley, Rio Grande do Norte, Brasil. *Geophysics*, 42 : 811-822.

Sasaki, Y. 1994. 3-D resistivity inversion using finite-element method. *Geophysics*, 59, 1839-1848.

Ward, S.H. 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. In: WARD, S.H. *Investigations in Geophysics N° 5, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol. I: Review and Tutorial*. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists. p 147-189.

Ward, S.H. & Hohmann, G.W. 1987. Electromagnetic theory for geophysical applications. In: NABIGHIAN, M.N. *Electromagnetic methods in applied geophysics, Volume 1, Theory*. SEG, Tulsa, p.131-312.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao DF/UPA, ao LENEP/UENF e ao ON/CNPq, pela infraestrutura e os recursos computacionais colocados a disposição para a realização deste trabalho. Da mesma forma, somos gratos com o CNPq, pelas bolsas de pesquisa, e com o IDAAN/Panamá, por facilitar os dados de campo. Aos avaliadores deste artigo pelas mudanças sugeridas.

Recibido enero de 2004, aceptado junio de 2005.



MEDICIÓN DE CÉLULAS SOLARES DE PELÍCULA DELGADA DE SILICIO AMORFO HIDROGENADO USANDO EL MÉTODO VIM

Alcides Muñoz Lasso

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Física.
email: alcides_up@yahoo.com

RESUMEN

Se repasa el comportamiento de una célula solar de película delgada a través de un circuito equivalente. En este circuito se incluye un elemento que representa las pérdidas por recombinación en la célula. A partir del circuito equivalente damos la interpretación física de los parámetros característicos así como de las constantes que intervienen en el funcionamiento de una célula. De los resultados se utiliza el método VIM (Variable Illumination Measurement) de Merten, que permite la medición y análisis de los parámetros más significativos de una célula solar de una manera fácil y rápida. Por último se miden diferentes dispositivos *pin* de células solares de a-Si:H realizan una validación entre los resultados encontrados por el método VIM y su simulación por ordenador de acuerdo al modelo presentado.

PALABRAS CLAVES

Silicio amorfo hidrogenado a-Si:H, modelo circuital, corriente de corto circuito I_{sc} , voltaje de circuito abierto V_{oc} , factor de forma FF, resistencia de circuito abierto R_{oc} , resistencia de corto circuito R_{sc} , método VIM.

ABSTRACT

The behavior of thin film solar cells is reviewed by an equivalent circuit. In this circuit an element is included that represents lost by recombination cell. With the equivalent circuit obtained we give a physical interpretation of the characteristic parameters, as well as the constants taking part on the operation of a cell. The Merten's method VIM (Variable Illumination Measurement) is used, that allows us measurements and analysis of the more significant parameters of a solar cell in a likely and fast way. We measured different solar devices *pin* from a-Si:H cells in

order to compare the results found by the VIM method and their simulation by computer using the presented model.

KEYWORDS

Amorphous silicio solar cells, the open-circuit voltage V_{oc} , the short-circuit current I_{sc} , Fill factor FF, the open-circuit resistance R_{oc} , the short-circuit resistance R_{sc} , the VIM method.

INTRODUCCIÓN

La curva característica $I(V)$ de una célula solar puede ser descrita mediante el circuito equivalente de la figura 1 (líneas continuas).

Los parámetros característicos de una célula solar V_{oc} , FF, R_{oc} y R_{sc} se obtienen a partir de los valores ideales de la curva $I(V)$. Pero la existencia de algunos factores de pérdida (corrientes de recombinación) tales como corrientes de fuga laterales a lo largo de la capa-n, los "pinholes" y la suposición de que la corriente fotogenerada es independiente del voltaje, hace que los resultados experimentales no concuerden del todo con los que se obtienen de la curva $I(V)$ para una célula solar. La principal diferencia de aplicar este modelo a las células de silicio amorfo es suponer que la fotocorriente I_{ph} colectada en la célula es independiente del voltaje aplicado. Como la longitud de

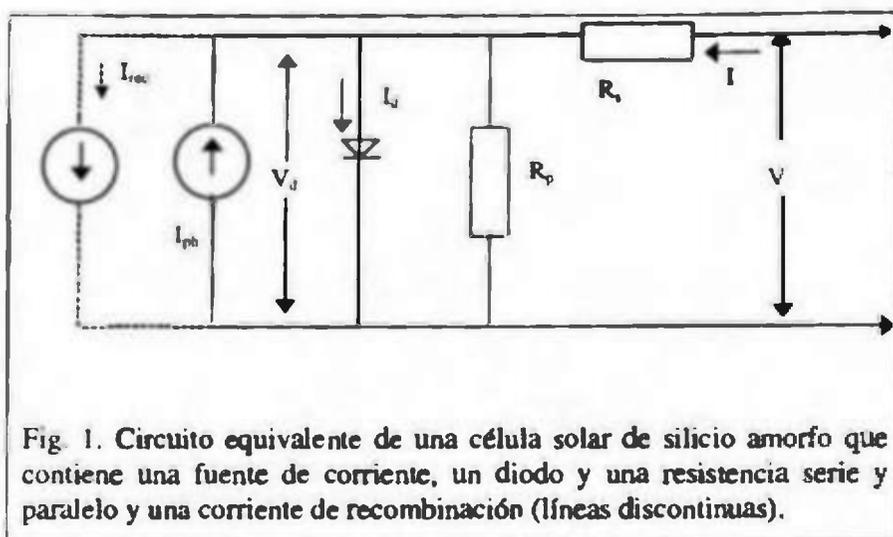


Fig. 1. Circuito equivalente de una célula solar de silicio amorfo que contiene una fuente de corriente, un diodo y una resistencia serie y paralelo y una corriente de recombinación (líneas discontinuas).

en la célula es independiente del voltaje aplicado. Como la longitud de difusión es pequeña en el silicio amorfo, los portadores son colectados por un campo eléctrico. Cuando el campo eléctrico es débil, los portadores tienen pérdidas por recombinación. Así la fotogeneración de corriente viene a ser dependiente del campo y el ajuste de las curvas $I(V)$ de células solares de silicio amorfo no concuerdan del todo con los resultados experimentales tal como el valor del factor de forma y la resistencia de corto circuito (Muñoz Lasso 2003). Al incluir el término de corrientes de pérdida (Merten 1996) en la ecuación de corriente-voltaje, representado por el elemento conectado por líneas discontinuas de la figura 1, se obtiene una mejor concordancia con los resultados experimentales de la variación de la radiación de la curva $I(V)$ para las células de silicio amorfo (Merten, J., et al., 1998).

Parámetros Característicos de las Células Solares

Las células solares pueden caracterizarse funcionalmente a partir de la curva, corriente-vs-voltaje $I(V)$, figura 2. La respuesta $I(V)$ queda definida básicamente por siete parámetros a saber: tensión en circuito abierto V_{oc} , corriente en cortocircuito I_{sc} , factor de forma FF , eficiencia η , punto de potencia máxima V_{mp}, I_{mp} ($P_{mp} = V_{mp}I_{mp}$) y pendiente a cortar los ejes, R_{sc} y R_{oc} (Möller, 1993).

El voltaje de circuito abierto V_{oc} se define por la condición

$$I(V_{oc}) = 0 \quad (1)$$

Este es el voltaje de la célula cuando no fluye corriente. Otro parámetro es la corriente de cortocircuito I_{sc}

$$I_{sc} = |I(V = 0)| \quad (2)$$

Es la corriente de la célula sin caída de voltaje en sus terminales. La corriente de cortocircuito I_{sc} para efectos prácticos puede considerarse proporcional a la luz absorbida en la célula (Merten, J. 1996).

Otro parámetro es el factor de forma (*Fill Factor*) FF que describe la desviación de la curva $I(V)$ de la forma rectangular:

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3)$$

La eficiencia η de una célula es:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{P_o} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{P_o} \quad (4)$$

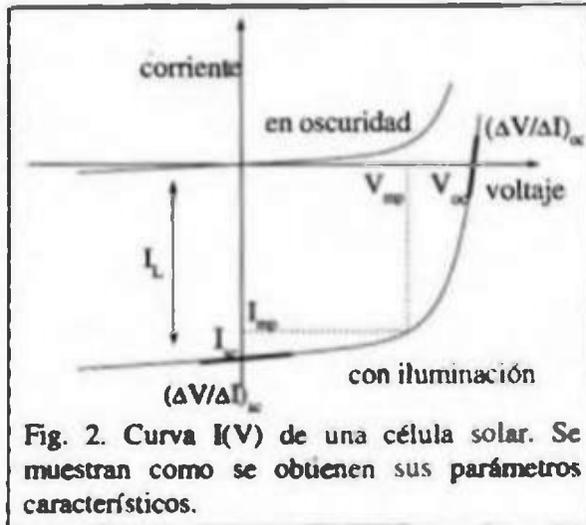


Fig. 2. Curva I(V) de una célula solar. Se muestran como se obtienen sus parámetros característicos.

Donde P_{mp} es la potencia máxima que provee la célula y P_o es la radiación incidente en la célula. Los dos parámetros V_{mp} e I_{mp} son importantes para el diseñador de generadores solares ya que las cargas conectadas a los paneles solares deben adaptarse, en impedancia, para permitir que trabajen en el punto de potencia máxima P_{mp} :

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (5)$$

Los dos últimos parámetros característicos se refieren a la pendiente inversa de la curva I(V) en condiciones de corto circuito y circuito abierto:

$$R_{sc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{sc} \quad (6)$$

$$R_{oc} = \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{oc} \quad (7)$$

PARTE EXPERIMENTAL

Se hicieron medidas de $I(V)$ variando la irradiancia en varios órdenes de magnitud. El sistema experimental utilizado es el que se muestra en la figura 3. Consiste de una fuente de luz que en este caso es una lámpara halógena conectada a una fuente de 12 V. La temperatura de las células durante las medidas estuvo controlada por un flujo de aire caliente el cual estaba regulado por un controlador de temperatura. El programa del ordenador envía los valores de la tensión a la fuente y determina los valores de la intensidad a partir de la lectura del voltímetro conectado al amplificador de corriente. Las medidas son almacenadas en el ordenador para su posterior utilización. Las variaciones de irradiancia se obtienen cambiando la distancia entre la lámpara y la muestra. Asumiendo que la corriente de corto circuito I_{sc} es proporcional a la luz absorbida, se puede considerar como una medida de los niveles de iluminación. Para entender este comportamiento, se determinan los parámetros de las curvas de $I(V)$ para cada uno de los niveles de iluminación, usando un programa de tratamiento de datos (Merten 1996) el cual calcula los parámetros característicos. Los datos resultantes de V_{oc} , FF, R_{sc} , R_{oc} son presentados como una función de los niveles de iluminación, el cual se asume proporcional a la corriente de corto circuito I_{sc} del dispositivo.

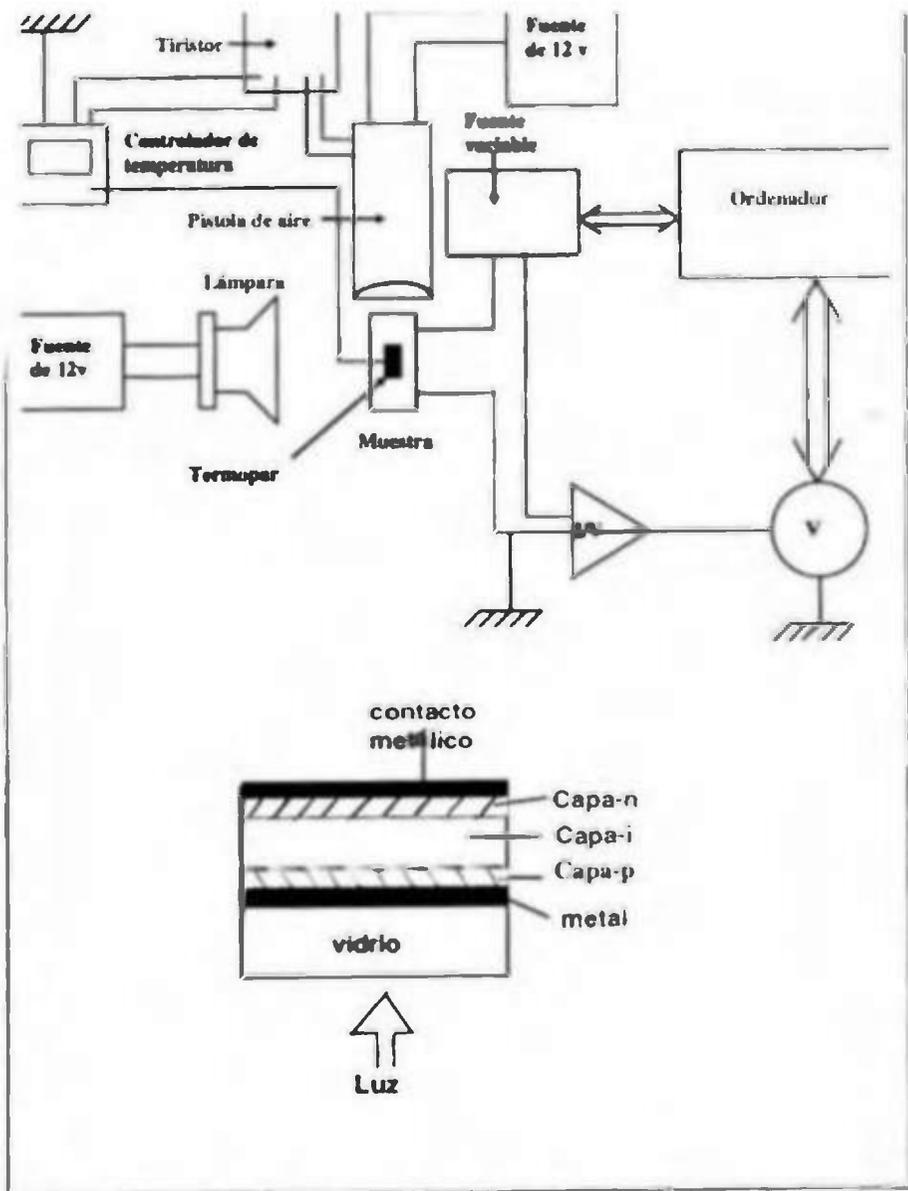


Fig. 3. Esquema experimental utilizado para obtener las medidas de la variación de la irradiancia y temperatura. Además, se muestra la estructura, pin de las células solares a-Si:H estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados experimentales que se presentan, a continuación, se comparan con las predicciones del modelo físico propuesto. Se miden células solares de silicio amorfo de diferente grosor de la capa intrínseca y células solares a diferentes regímenes de temperatura donde se estudia el efecto de la temperatura en el comportamiento de las células.

Células solares de silicio amorfo con diferentes grosores de la capa-i.

Se han variado los niveles de iluminación para las células solares de a-Si:H de grosores de la capa-i diferentes, los resultados son los que se presentan a continuación.

Las gráficas del $V_{oc}(I_{sc})$, figura 4a, presentan un comportamiento un tanto similar a alta iluminación, resultando las más delgadas con un valor ligeramente mayor de V_{oc} . El menor valor del V_{oc} a baja iluminación para las células más delgadas en la capa-i, está relacionado con un menor valor de R_p . La disminución de los valores del factor de idealidad n , con el aumento del grosor son los responsables de que el valor del V_{oc} disminuya, aunque la corriente de recombinación I_0 disminuye con el grosor, (Tabla 1), sus valores no son suficientes para aumentar el V_{oc} (Shah A.V. et al., 1995).

Los valores de FF, figura 4b, para las células con grosores diferentes en la zona-i, presentan comportamientos diferentes. Las células menos gruesas tienen un menor valor en casi todo el intervalo de iluminación. En la zona donde domina la resistencia paralelo (bajo nivel de iluminación) los valores del factor de forma FF, para las células más delgadas, son mucho menores; esto puede deberse a un menor valor de la resistencia paralelo causada por corrientes de fuga laterales a través de los bordes de la unión o a la presencia de pinholes por lo delgada de la zona-i. A niveles altos de iluminación, donde domina la resistencia serie, los comportamientos de las células son parecidos (Hubin, J. & Shah, A.V. 1995).

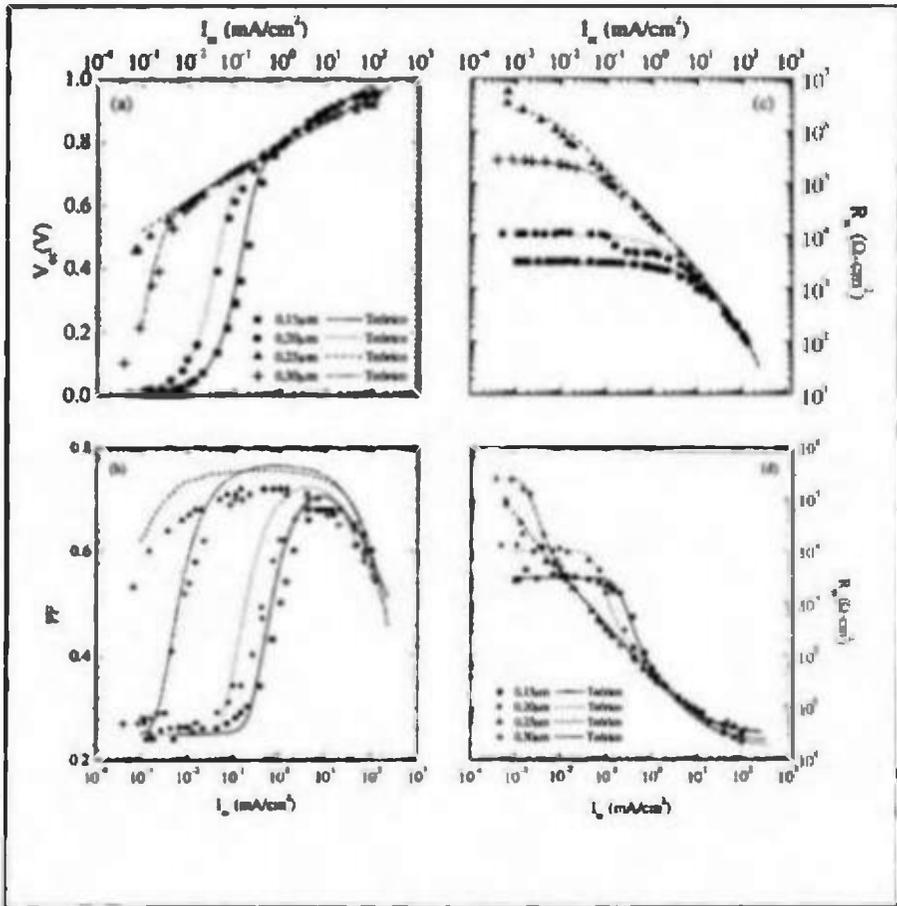


Fig. 4. Valores experimentales obtenidos a partir de las curvas de $I(V)$ a diferentes niveles de iluminación, por el método VIM y ajuste por ordenador del modelo propuesto.

Las gráficas de $R_{sc}(I_{sc})$, figura 4c, a bajos niveles de iluminación señalan el valor de R_p en donde las más delgadas tienen valores menores (Tabla 1) el cual afecta significativamente el FF tal como se observa en la gráfica de $FF(I_{sc})$. Este menor valor de R_p se puede deber a corrientes de fuga laterales en la unión, como a la presencia de defectos en la capa-i (*pinholes*). Los valores del producto de $\mu\tau$, obtenidos en la zona media de iluminación, aumentan con el grosor y están relacionados con un aumento de la recombinación en la zona i, esto igualmente explica los menores valores de FF, (Tabla 1), (Shah, A.V., et al., 1995).

Tabla 1. Parámetros calculados para muestras con diferente grosor en la capa-i.

<i>grosor capa-i</i> (Å)	R_s ($\Omega\text{-cm}^2$)	R_p ($\Omega\text{-cm}^2$)	μ_i (cm^2/V)	n	I_0 (mA/cm^2)
1 500	3,5	3 265	$4,85 \times 10^{-9}$	1,50	$1,38 \times 10^{-9}$
2 000	3,0	$1,1 \times 10^4$	$8,55 \times 10^{-9}$	1,48	$1,10 \times 10^{-9}$
	1,5	$5,0 \times 10^6$	$14,1 \times 10^{-9}$	1,41	$5,41 \times 10^{-10}$
3 000	2,2	$3,0 \times 10^5$	$20,8 \times 10^{-9}$	1,32	$1,21 \times 10^{-10}$

En la figura 4d, mostramos las gráficas de $R_{sc}(I_w)$. Las gráficas presentan una saturación en la región de alta iluminación por lo que podemos obtener el valor de la resistencia serie, las células más delgadas presentan mayor valor de resistencia serie, la misma puede deberse a la resistencia entre los contactos metálicos y la célula.

Variación de la Temperatura en una muestra de a-Si:H.

Como se ha visto en el apartado anterior, el modelo propuesto ajusta de modo aceptable los resultados experimentales del método VIM. A continuación presentamos los resultados del estudio de la dependencia con la temperatura de una célula de a-Si:H y los parámetros de ajuste para posteriormente analizar la información obtenida. Sus resultados se muestran en la figura 4.

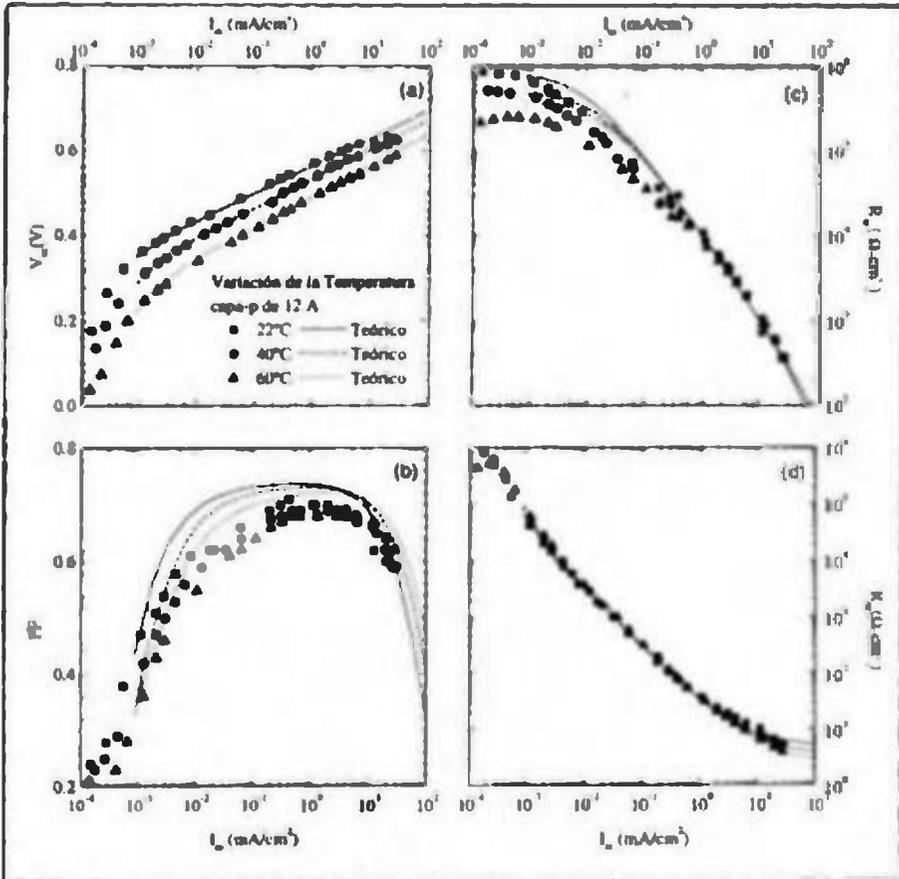


Fig. 5. Representación de los valores experimentales obtenidos a través del método VIM y generación por ordenador de los valores de acuerdo al modelo propuesto. Se observa una buena concordancia entre los valores experimentales y teóricos.

Los valores de V_{oc} , figura 5a, en la célula solar presentan una disminución con la temperatura, la disminución a menor iluminación nos indica un menor valor de la resistencia paralelo con la temperatura. El valor del factor de idealidad n aumenta con la temperatura en la célula solar, esto muestra el aumento de la recombinación en la célula producto del aumento de la temperatura. El valor de la corriente de saturación I_0 aumenta con la temperatura, el mismo está relacionado con la disminución del valor de V_{oc} . (Tabla 2). (Vieira, M. et al., 1996; Yang, L. et al., 1991).

Los valores del factor de forma FF, figura 5b, no presentan una disminución con el aumento de la temperatura, disminución que podríamos esperar por su menor valor del V_{oc} . Esto indica que el valor del producto $\mu\tau$ no se ve afectado con la temperatura en la célula solar amorfa y, por tanto, no produce un aumento en la recombinación en la zona-i, (Tabla 2). A niveles altos de iluminación la célula a mayor temperatura muestra mayores valores del FF, pero el mismo no podemos atribuirlo a un aumento de la temperatura (Vieira, M. et al., 1996).

Tabla 2. Células Solares de a-Si:H, Variación con la Temperatura.

Temp. (°C)	n	I_0 (mA/cm ²)	$\mu\tau$ (cm ² /V)	R_p (Ω -cm ²)	R_s (Ω -cm ²)
22	1,49	$2,30 \times 10^{-8}$	$2,78 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^4$	3,5
40	1,73	$2,30 \times 10^{-7}$	$2,78 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^5$	3,0
60	1,95	$5,75 \times 10^{-6}$	$2,73 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^5$	3,0

La gráfica de $R_{sc}(I_{sc})$, figura 5c, presenta una disminución de la resistencia paralelo al aumentar la temperatura, lo cual concuerda con el comportamiento observado en la gráfica de $V_{oc}(I_{sc})$; podemos suponer que la temperatura activa los defectos puntuales, produciéndose corrientes laterales en la misma. El valor del producto no muestra un cambio apreciable con la temperatura, este comportamiento lo podemos atribuir a que tanto la movilidad μ , como el tiempo de vida τ , de los portadores son dependientes de la temperatura uno disminuyendo y otro aumentando respectivamente por lo que su producto permanece casi constante.

En la gráfica de $R_{sc}(I_{sc})$, figura 5d, se obtiene el valor de la resistencia serie extrapolando en la zona de alta iluminación. Los valores obtenidos de la resistencia serie muestran una leve variación con la temperatura, en concordancia con el comportamiento de la gráfica de FF(I_{sc}), (Tabla 2), (Carlson, D. E. & K. Rajan. 1996).

Los cambios que presenta la célula con la temperatura guardan concordancia con lo esperado y la predicción de la disminución de sus propiedades con la temperatura. En general, los cambios con la temperatura, nos han indicado un aumento de la recombinación en volumen y una variación del campo eléctrico en la interfaz p/i , tal como lo indica la disminución del V_{oc} con la temperatura. Los cambios en la resistencia paralelo y serie están relacionados con la degradación de la célula. Estas variaciones indican una disminución de sus características electrónicas con la temperatura.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto, usando el método VIM, permite diferenciar las características que presentan las células solares *pin* a través de sus parámetros característicos, así como las limitaciones que presenta el dispositivo. La utilización de esta técnica es una manera rápida y fácil de estudiar el comportamiento de las células solares.

Para las muestras de diferentes grosores en la zona- i , el valor del producto $\mu\tau$ mejora con el grosor. Esto indica que el valor del producto $\mu\tau$ involucrado en el modelo es un producto $\mu\tau$ funcional o efectivo que viene determinado no sólo por el material, sino también por la estructura del dispositivo. En las células más delgadas puede pesar más la interfaz donde los defectos cargados capturan más eficientemente.

El análisis en temperatura de los dispositivos *pin* de silicio amorfo muestra cómo el parámetro que más se ve afectado es el voltaje de circuito abierto V_{oc} . Este efecto está directamente relacionado con la activación térmica de la corriente de saturación en inverso del dispositivo. El resto de los parámetros del modelo, incluido el producto $\mu\tau$, apenas cambian.

REFERENCIAS

Hubin, J. & A.V. Shah. 1995., Effect of recombination function on the collection in a $p-i-n$ solar cell, Philos. Mag. B;72(2) 589-599.

Merten, J. 1996. Photovoltaics with Amorphous Silicon: Technological, Physical and Technical Aspects. *Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, España.*

Möller, H. J. 1993. Semiconductors for Solar Cell, The Artech House. 587 pp.

Merten, J., J.M. Asensi, C. Voz, A. Shah, R. Platz & J. Andreu. 1998, Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 45(2) 423-429.

Muñoz Lasso, A. 2003. Modelo circuital de células solares de película delgada. *Tecnociencia*, Vol. 5(1) 33-50.

Shah, A.V., R. Platz & H. Keppner. 1995. Thin-Film silicon solar cells; A review and select trends. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 38 501-520.

Vieira, M., E. Fortunato, G. Lavareda, C. N. Carvalho & R. Martins. 1996, Light and temperature effect on pin a-Si:H device performance. *Vacuum*, 45 (10/11) 1147-1149.

Yang, L., L. Chen & A. Catalano. 1991., Intensiva and temperature dependence of photodegradation of amorphous silicon solar cells under intense illumination. *Appl. Phys. Lett.*, 59 840-842.

Carlson, D.E. & K. Rajan. 1996. Irreversible light-enhanced degradation in amorphous silicon solar cells at elevated temperatures. *Applied Physics Letter*, 68(1), 28-30.

Recibido marzo de 2005, aceptado agosto de 2005.

NOTA

**OBSERVACIONES SOBRE UN EVENTO ANTAGÓNICO EN
OCELOTES (*LEOPARDUS PARDALIS*)**

ARTÍCULO DE COMUNICACIÓN CORTA

Ricardo Moreno

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI).

Sociedad Mastozoológica de Panamá (SOMASPA).

e-mail: morenors@si.edu ; ricardos3moreno@hotmail.com

Se conoce muy poco sobre eventos antagónicos en felinos silvestres neotropicales debido quizás, a lo denso que es el bosque en los trópicos y también al comportamiento esquivo que presentan los felinos en general (Kitchener 1991, Nowel & Jackson 1996, Sunquist & Sunquist 2002). En la isla de Barro Colorado se está desarrollando actualmente un proyecto con el fin de contestar preguntas básicas sobre la ecología y el comportamiento de los ocelotes. Para esto, se han estado marcando ocelotes con radio collares, ya que el método de la radio telemetría es el que resulta más confiable para obtener este tipo de información (Nuñez et al., 2002, Emmons 1988, Ludlow & Sunquist 1987). El primer ocelote fue marcado el 25 de julio de 2001. Este animal era un macho joven adulto (mas o menos 5 años), con un peso de 11.8 kg, y fue identificado como R-34 (George). Se le colocó un radio collar que portaba un micrófono incorporado, con la finalidad de obtener más información de la que puede suministrar un radio collar convencional. Luego de esto, fue rastreado por Roland Kays, Nick Petry o mi persona, entre 12 y 16 horas cuando el animal era localizado. El objetivo era tratar de hacer grabaciones en los momentos en que se disponía a cazar o cuando tenía interacciones inter e intraespecíficas.

Una noche lo localicé en el sendero "Big Tree" a las 22:00 horas. El animal estaba muy cerca y pude observar que intentaba atrapar a una rata semiespinosa (*Proechimys semiespinosus*), pero esta se escabulló entre unos árboles caídos. El ocelote comenzó a caminar por el sendero lentamente, lo cual normalmente es indicativo que estaba en busca de alimento (*obs. pers.*, Emmons 1988, Sunquist & Sunquist 2002). Al rato perdí contacto visual con el animal y tomando el rumbo con la brújula me di cuenta que iba en dirección hacia el sendero de Thomas Barbour (TB) entre la marca 12 a 14. Para no perturbar al ocelote, tomé otra ruta para llegar rápidamente a ese sendero y estar a una distancia prudente para poder realizar las grabaciones. Antes de llegar al lugar indicado por la señal del radio collar, en la marca 11.4 del sendero TB, vi el reflejo de dos ojos a la distancia y me acerqué lentamente. Estando a unos 7 m del animal pude reconocer que era un ocelote macho muy grande recostado en el suelo. Apunté la antena en su dirección, pero no era el ocelote R-34. El ocelote no identificado estaba consciente de mi presencia, ya que claramente me miraba y olfateaba.

Luego de estar casi seis minutos frente al ocelote no identificado, éste se levantó y comenzó a alejarse de mí, hacia TB 12 y 13. Mientras el animal caminaba olfateaba la vegetación y orinaba en rociado ("spray"), marcando territorio (Sunquist 1981, Martinez-Meyer 1997). Al levantar la antena de telemetría, la señal del ocelote R-34 se escuchaba muy fuerte, lo que indicaba que también estaba cerca. Tomé mi reflector (spotlight) y pude ver que el ocelote R-34 estaba en el mismo sendero, frente al ocelote no identificado, este último en una posición agresiva con el cuerpo recogido y tenso, cabeza hacia abajo, orejas hacia atrás, siseando y maullando muy fuerte (Fig. 1, B). La postura que presentaba el ocelote R-34 era de temor ante el ocelote no identificado, el cual presentaba una postura amenazadora (Fig. 1, A). Estas posturas son muy similares a lo descrito por Leyhausen (1979), el cual menciona que los gatos domésticos tienen diferentes variaciones y posturas con diferentes niveles de agresión.

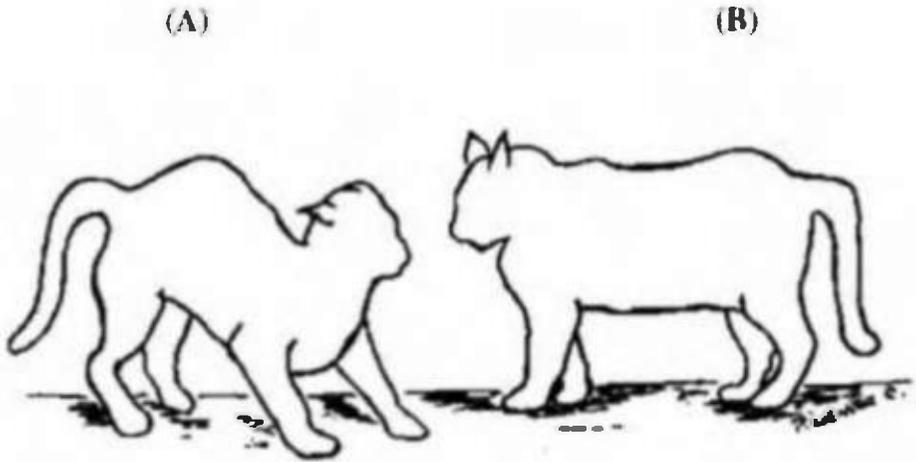


Fig. 1. Diagrama de las posturas en el evento antagónico, A (intimidado) y B respectivamente.

El ocelote no identificado era visiblemente de mayor tamaño. Se dirigió hacia el ocelote R-34 con una postura agresiva, se acercó y se puso cabeza con cabeza con R-34. En ese momento los dos maullaban muy fuerte. El ocelote R-34 se dio la vuelta y corrió colina abajo, alejándose del sendero y el ocelote no identificado lo siguió. Este animal alcanzó al R-34 y tuvieron un encuentro sumamente agresivo, el cual incluyó zarpazos, arañazos, mordidas, y gruñidos, por aproximadamente de 4-5 minutos. A unos 15 m de ellos, pude confirmar que el ocelote no identificado era más grande y corpulento. En todo momento se observó el dominio del ocelote no identificado sobre R-34 el cual siempre estuvo debajo del otro gato más bien en una posición defensiva. Esto me recordó las observaciones que se han realizado en gatos domésticos (*Obs. per., Leyhausen 1979*).

El intercambio agresivo terminó repentinamente y el ocelote grande se retiró en dirección al sendero TB. R-34 esperó unos instantes y corrió en dirección contraria y desapareció del alcance del receptor de telemetría. Después de esa noche nunca más tuvimos contacto con R-34. Lamentablemente, parece que el micrófono que estaba incorporado en el radio-collar se había dañado antes o en el momento del evento y no se pudo grabar el encuentro a través del micrófono.

Durante este mismo periodo, habían cámaras automáticas situadas en diferentes sitios de Barro Colorado, pero tampoco se obtuvieron registros fotográficos de R-34 después del evento antagónico. Esto sugiere que 1) posiblemente el gato murió días después del evento ó 2) salió de la isla nadando, ya que hay registros de ocelotes que han nadado largas distancias (Crawshaw 1995). Meses antes de capturar a R-34 se logró ver en las fotos de las cámaras automáticas que este ocelote presentaba una lesión en la oreja izquierda, lo cual fue corroborado el día de su captura. Esta evidencia indica que el ocelote había tenido un encuentro agresivo, posiblemente con otro ocelote, previo a su captura y presentaba lesiones bastante graves en el cuerpo.

Con el transcurso del tiempo, otros ocelotes que hemos capturado también han presentado lesiones que parecen ser de peleas y en algunas fotos, especialmente en los machos, se pueden observar marcas de posibles eventos antagónicos. Autores como Crawshaw (1995), mencionan que ellos encontraron muerto en su zona de estudio uno de los ocelotes que portaba radio collar, el cual mostraba evidencias que había tenido un encuentro agresivo y considerando el solapamiento de su territorio con el de otro macho más grande pareciera que este ocelote murió a causa de las lesiones después de la pelea. Por esto, la hipótesis que R-34 murió después del combate es bastante aceptable, aunque no se descarta la posibilidad que abandonó la isla en busca de otro territorio.

AGRADECIMIENTOS

A Martin Wikelski PhD de la Universidad de Princeton y Roland Kays PhD Curador del Museo de New York por su gran apoyo y logística, que sin su apoyo no hubiera sido posible la obtención de los radio-collares con micrófonos incorporados. A Nick Petry, cuyos fondos sirvieron de apoyo para iniciar este proyecto. A la Lic. Giselle Muschet por brindar comentarios al manuscrito. Dr. Joe Wright del STRI por brindarme apoyo logístico y confianza, a la Dra. Jackie Giacalone por facilitarme los datos de las cámaras automáticas, Dr. Rafael Samudio Jr. por sus valiosos comentarios al manuscrito, al Dr. Egbert Leigh, Jr, del STRI por las charlas sobre ecología y buenos comentarios. STRI Fellow Mellonship, y la Beca de la Isla de Barro Colorado. Al Lic. Pedro Méndez por la realización del diagrama.

REFERENCIAS

Crawshaw, P.G. 1995. Comparative ecology of ocelot (*Felis pardalis*) and jaguar (*Panthera onca*) in a protected subtropical forest in Brazil and Argentina. Tesis de Doctorado. Universidad de Florida. Gainesville, Florida, USA. 189 pp.

Emmons, L.H. 1988. A field study of ocelots in Peru. *Revue d'ecologie de la terre et de la vie*. 43:133-157.

Kitchener, A. 1991. The natural history of the wild cats. Comstock Publishing Associates, New York, USA. 280 pp.

Leyhausen, P. 1979. Cat behaviour. Garland STPM Press, New York.

Ludlow, M. & M. Sunquist. 1987. Ecology and behavior of ocelots in Venezuela. *National Geographic Research*, 3(4):447-461.

Martínez-Meyer, E. 1997. Ecología del ocelote (*Leopardus pardalis*) en la región de Chamela, Jalisco, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Animal). Universidad Nacional Autónoma de México. 76 pp.

Nowel, K. & P. Jackson. 1996. Wild Cats. Int. Union. Conser. Nat. and Nat. Resour. (IUCN). Gland. Switzerland, 382 pp.

Núñez, R., B. Miller & F Lindzay. 2002. Ecología del jaguar en la reserve de la biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco. In *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América*. Pp. 107-126. Medellín, R., C. Equihua, C. Chetkiewicz, Jr, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J. Robinson, E. Sanderson & A. Taber. (eds). México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México & Wildlife Conservation Society.

Sunquist, M & F. Sunquist. 2002. Wild cats of the World. The University of Chicago Press. 452 pp.

Sunquist, M. 1981. The social organization of the Tigers (*Panthera tigris*) in Royal Chitawan National Park, Nepal. *Smith. Contrib. Zool.* 336: 1-98.



LA RESERVA FORESTAL FORTUNA Y SUS NUMEROSAS PLANTAS ENDÉMICAS

ARTICULO DE DIVULGACIÓN

Jorge Arturo Mendieta B.

Universidad de Panamá. Departamento de Botánica.

email: mendija@cwpanama.net

RESUMEN

En Panamá se han registrado más de 10,000 especies de plantas superiores de las cuales el 14% son endémicas. Esta alta tasa de endemismo se refleja en la Reserva Forestal Fortuna, donde se han registrado 53 de ellas. Entre las especies endémicas registradas en la Reserva, 10 llevan el epíteto fortuna u hornito como homenaje al sitio. Las características orográficas que afectan la temperatura y la alta nubosidad del área son los factores que explican este endemismo. Es posible que el desarrollo de un programa de investigación más detallado y en forma sostenida, de cómo resultado un mayor número de especies endémicas.

PALABRAS CLAVES

Especie endémica, zona de vida, embalse, erosión, sedimentación, Reserva Forestal.

ABSTRACT

Panama has more than 10,000 species of higher plants and 14% of these are endemics. In the Fortuna Forest Reserve there are 53 endemic species. Among these, there are 10 with the fortuna or hornito epithet as remembrance for the site when they were found. The orographic and cloud forest condition explain the Fortuna endemism. With more research it is possible to find more endemic species.

KEYWORDS

Endemic species, life zone, erosion, dam, sedimentation, Forest reserve.

INTRODUCCIÓN

La Reserva Forestal Fortuna tiene su origen en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico, en 1976. En ese entonces se consideró necesario realizar un estudio de impacto ambiental del proyecto; como resultado de dicho estudio se decidió conservar los bosques de la cuenca hidrográfica en que se encuentra el proyecto. La Reserva Forestal Fortuna protege los suelos contra la erosión hídrica, evitando la sedimentación del embalse (Fig. 1). Los bosques de esta reserva forestal se localiza en la Zona de Vida Bosque pluvial premontano, observándose una alta incidencia de nubosidad. Los terrenos de la reserva se localizan en la Cordillera Central, provincia de Chiriquí, por encima de los 2,000 msnm (Mendieta 2005). Las condiciones ambientales (altura, temperatura y nubosidad) favorecen la presencia de especies de plantas endémicas, diferentes a las observadas en las tierras bajas.

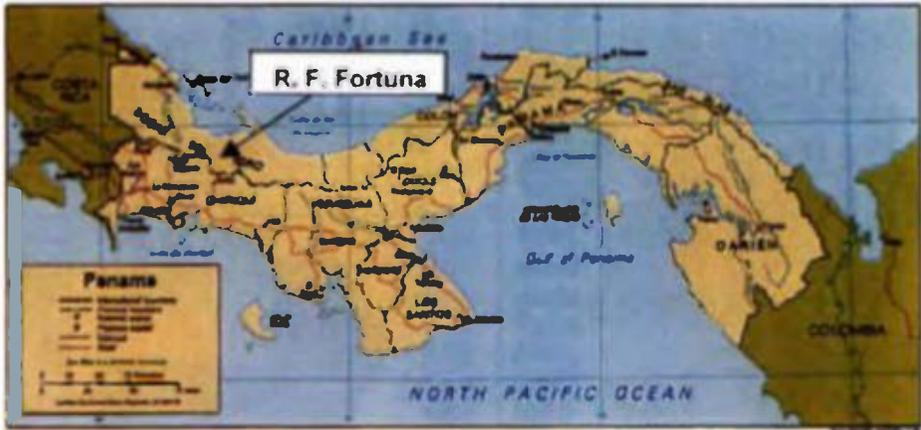


Fig. 1. Localización De La Reserva Forestal Fortuna

La elaboración de este documento ha considerado los estudios florísticos elaborados por diversos investigadores desde 1976 y los registros presentados en el Catálogo de plantas superiores de Panamá, publicado el 2004.

Considerando los detalles anotados, este estudio se propone mostrar que las condiciones ecológicas de la Reserva Forestal Fortuna han permitido la evolución de taxones, observándose en la actualidad numerosas especies endémicas. La presencia de estas especies endémicas es posible en la región, ya que los bosques naturales se han conservado en forma exitosa.

LAS ESPECIES DE PLANTAS ENDÉMICAS EN LA RESERVA FORESTAL FORTUNA

Nuestro país muestra una abundante diversidad de plantas superiores (plantas vasculares) representada por más de 10,000 especies. En adición a esta riqueza de especies, existe un alto nivel de endemismo que representa aproximadamente el 14% del total de especies del país (Correa 1998). Aunque desde 1976 se han realizado diversos estudios, con el objetivo de conocer las especies de plantas de la reserva, en la actualidad no se conoce en su totalidad. Sin embargo, los listados de especies de plantas registradas en Fortuna han permitido determinar la existencia de numerosas especies endémicas. Los bosques de la Reserva Forestal Fortuna albergan una diversidad de especies muy rica y numerosas especies endémicas.

Cuadro 1. Cantidad De Especies De Plantas Endémicas En Panamá, Chiriquí y Fortuna.

GRUPO DE PLANTA	CANTIDAD DE ESPECIES DE PLANTAS ENDÉMICAS		
	PANAMÁ	CHIRIQUÍ	FORTUNA
Pteridofita	32	13	
Angiosperma	1,107	355	53
• Liliopsida	366	123	22
• Magnoliopsida	741	232	35
TOTAL	1,144	368	53

Tomado de Catálogo de plantas Vasculares de Panamá (Correa 2004).

Como se observa en el cuadro 1, en Fortuna se han registrado 53 especies endémicas. Estas especies endémicas se han registrados en el grupo de plantas con flores (Angiospermas). Sin embargo, es posible que con estudios florísticos más detallados que incluyan los grupos de plantas no vasculares, resultará en un mayor número de especies endémicas. En la actualidad los registros indican que las 53 especies representan el 14% de las especies endémicas registradas en Chiriquí (368).

Es interesante notar que, en numerosas especies se utiliza el epíteto fortuna u hornito, rindiendo homenaje al sitio en que fueron registradas y descritas por primera vez. Al menos 10 de las especies endémicas presentan esta condición. Estas especies son: la Araceae *Philodendron fortunense* Croat, las orquídeas (Orchidiaceae) *Pleurothallis fortunae* Luer & Dressler, *Prosthechea fortunae* (Dressler) W. E. Higgins,

Stellilabium fortuneae Dressler. Entre las Magnoliopsida se observan: *Justicia fortuneensis* T. F. Daniel & Wassh., *Ilex fortuneensis* Hahn, *Cavendishia fortuneensis* Luteyn, *Disterigma fortuneense* Wilbur, *Hoffmannia fortuneensis* Dwyer y *Psychotria hornitensis* Dwyer & C. W. Ham. De estas 10 especies, solamente la orquídea *Pleurothallis fortuneae* ha sido reportada fuera de la provincia de Chiriquí (Coclé).

El endemismo se entiende como la existencia de especies que viven exclusivamente en un determinado territorio. ¿Cómo se explica la presencia de especies endémicas en Fortuna?. Para responder esta pregunta es necesario recordar que, las causas del endemismo se explican por el aislamiento de un territorio: aislamiento que puede ser de tipo orográfico (afectando la temperatura), desértico (por adaptación a un medio hostil), edáfico (por el desarrollo de adaptaciones especiales), insular (por la existencia de barreras geográficas) o una combinación de éstos. En el caso de la Reserva Forestal Fortuna, su marcado endemismo tiene explicación en su aislamiento orográfico. En las montañas, como el caso de Fortuna, se identifican dos factores que afectan en forma directa el endemismo: el clima que es modificado por la altura y por otro lado, la topografía quebrada que determina la formación de suelos muy particulares. Estos dos factores combinados dan lugar a una diversidad de ecosistemas que resultan en altos niveles de endemismo (Izco 2004).

La presencia de las numerosas especies endémicas conocidas en la actualidad y la posibilidad de que existan muchas más, le da a los bosques de Fortuna un toque especial. El aporte que han brindado estos bosques al conocimiento humano y los aportes que pueda ofrecer en el futuro deben ser considerados cada vez que hablemos de la Reserva Forestal Fortuna. Estos son bosques que en adición a su papel como reguladores del caudal del río y protectores de los suelos, tienen mucho que ofrecer todavía. Estos bosques forman parte de la Cordillera de Talamanca, considerada una de las regiones de mayor diversidad de especies en Mesoamérica y el Neotrópico.

La Reserva Forestal Fortuna es un gran laboratorio, que además de ofrecer un importante banco genético está disponible para que allí se desarrollen actividades educativas. En este sentido (educación) se hace imperativo conocer la riqueza biológica de la región, por lo que es necesario realizar mayores esfuerzos en forma sostenida, para

generar información que permita conocer la riqueza de especies y sus interrelaciones. Es recomendable entonces establecer un programa de investigación a mediano y largo plazo, que permita generar la información requerida.

REFERENCIAS

Adames, A. 1977. Evaluación ambiental y efectos del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna: Informe Final. Revista Lotería, abril - mayo - junio, 538 p.

Correa, M., C. Galdames & M. Stapf. 2004. Catálogo de plantas Vasculares de Panamá. U de P - STRI - ANAM. 599 p.

Correa, M. & I. Valdespino. 1998. Flora de Panamá: una de las más ricas y diversas del mundo. Revista Ancon 5(1): 16 - 22.

Davis, S. et al. 1997. Centres of Diversity: a guide and strategy for their conservation. Volume 3: The Americas. UICN. P.

Holdridge, L. 1996. Ecología basada en Zonas de Vida. IICA, Costa Rica. 216 p.

Izco, J. et al. 2004. Botánica. McGraw - Hill Interamericana. Segunda edición. 906 p.

Mendieta, J. 2005. Importancia del bosque para el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna. Tecnociencia 7(1): 149-155.

Recibido agosto de 2005, aceptado septiembre de 2005.

