

ISSN 1609-8102 (Impresa)

ISSN 2415-0940 (En línea)



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

TECNOCIENCIA

Volumen 21, N° 2



**Revista de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología
Universidad de Panamá, julio del año 2019.**

ECOLOGICAL DATA OBTAINED FROM LATRINE USE BY OCELOTS (*LEOPARDUS PARDALIS*) ON BARRO COLORADO ISLAND, PANAMA

¹ Ricardo Moreno and ² Jacalyn Giacalone

¹Smithsonian Tropical Research Institute, Unit 0948, APO AA 34992-0948.

²College of Science & Mathematics, Montclair State University, Upper Montclair, NJ 07043.

RESUMEN

Examinamos los patrones de actividad y la dieta de una sub-población de ocelotes (*Leopardus pardalis*) en la isla de Barro Colorado (BCI) Panamá, usando evidencia de las cámaras automáticas y depósitos de heces de cuatro individuos. Se obtuvo información de la letrina de ocelotes entre los meses de abril y octubre de 2001. Se confirmó por medio fotográfico que la letrina de los ocelotes fue utilizada por cuatro individuos. Tanto machos como hembras usaron las letrinas, lo cual sugiere que la letrina tiene una función social, aparte del marcaje de territorio. Los ocelotes presentaron mayor actividad durante las noches ($X^2=5.06$, $P=0.05$). Las letrinas de los ocelotes de BCI aparentemente parecen ser un buen sitio para facilitar el apareamiento. Setenta y cuatro heces fueron colectadas y analizadas, las cuales mostraron que los ocelotes de BCI depredan principalmente roedores (42.3%), edentados (31.5%), y reptiles (14.1%). Encontramos que los ocelotes de BCI depredan presas más grandes que los ocelotes de Cosha Cashu, Perú (Emmons 1987). El papel de ocelotes como depredadores en BCI parece solapar con el de los gatos grandes, pero se necesita mayor evidencia.

PALABRAS CLAVES

Isla de Barro Colorado, dieta, actividad circadiana, letrina, *Leopardus pardalis*, fotografías automáticas, análisis de heces, comportamiento social.

ABSTRACT

We examined activity patterns and diet of ocelots (*Leopardus pardalis*) on Barro Colorado Island (BCI), Panama, using evidence from remote photography and scat deposits of four individuals. Photographs from an ocelot latrine were taken from April to October 2001. Ocelot latrine use by different individuals was confirmed

by photographic data. Both males and females used the latrine, which suggests that latrines have a social function other than just the marking of territory. This ocelots are mainly nocturnal ($\chi^2=5.06$, $P=0.05$). The ocelot latrines on BCI appear to be locations to facilitate mating. Seventy-four scats were collected and analyzed, showing that BCI ocelots feed primarily on rodents (42.3%), edentates (31.5%), and reptiles (14.1%). BCI ocelots prey on larger prey than at Cosa Cashu, Peru (Emmons 1987). The role of ocelots as predators on BCI seems to overlap with that of larger cats, but more evidence is needed.

KEYWORDS

Barro Colorado island, diet, circadian activity, latrine, *Leopardus pardalis*, remote photography, scat analysis, social behavior.

INTRODUCTION

The study of the social behavior of neotropical cats is key to understanding their role in forest ecosystems. Ocelots (*Leopardus pardalis*), like most other cats, are notoriously difficult to study by direct observation, and in most study areas it is not feasible to estimate cat populations from visual census methods because they are so rarely seen. Felids' secretive way of life allows for plenty of room for debate about their ecological importance (Terborgh 1992; Wright et al., 1994, 1999, 2000).

Ocelots, like many other carnivores, base their social system on the maintenance of a home range, which is usually advertised (Ewer 1973; Navarro 1985; Tewes 1986; Ludlow & Sunquist 1987; Crawshaw & Quigly 1989; Emmons 1989; Konecny 1989; Martinez-Meyer 1997). According to Konecny (1989), they advertise their home range by clawing in the ground or in trees, spraying urine and depositing feces. For example, some felids like African wild cats and bobcats, and ocelots can concentrate their feces in one site and make what is known as a "latrine". It is believed that one latrine can be used by more than one cat (Enders 1935; Ludlow & Sunquist 1987; Emmons 1988 in Kitchener, 1991). These latrines can be used for different purposes. They are used not only to delimit cats' home range, but to display intraspecific information about sex, age, reproductive status, and presumably the identity of individuals (Kitchener 1991).

Like other felines, ocelots habitually use human-made trails (Emmons et al., 1989; pers. obs.), and can therefore be monitored remotely there.

In addition, ocelots' tendency to use "latrines" allowed us to monitor their behavior specifically at one of these sites, providing a valuable source of data about diet (prey material) and social interactions. Data in this report are based on the study of latrine use by using remote photography through trip-cameras and scat analysis of a subpopulation of ocelots to better understand the role of their latrines and the ocelot ecology on Barro Colorado Island, Panama.

METHODS

Study Site.- Barro Colorado Island (BCI) is located at 9°9' N and 79°51' W, and was formed during the construction of the Panama Canal. BCI has been used as a biological research site since the 1920's and is now administered by the Smithsonian Tropical Research Institute. The island is approximately 15 km² in area and is covered by a mix of old growth and secondary growth moist tropical forest (Leigh 1999). This paper focuses on one group of the BCI ocelot population (perhaps 10% of the total island population) that frequents Harvard Trail (map Fig. 1.). This trail is approximately 2100m long. The last 1000m traverse a peninsula and end at the shore of Lake Gatun. The nearby forest is densely tangled, and has a lower canopy with respect to more interior parts of the island.

Harvard latrine.- The latrine is found in an observation shelter for game wardens, a small 2 x 2m hut, with a cement floor and zinc roof, open on all sides. The hut is not located within the forest, but rather in tall Vietnam grass (*Saccharum spontaneum*), approximately 5 m from the lakeshore. Periodic visits have revealed ocelot scats scattered across the cement floor of the hut. At least eight different latrines have been found on BCI in the last few years; the Harvard latrine is only one of three actively used in 2001.

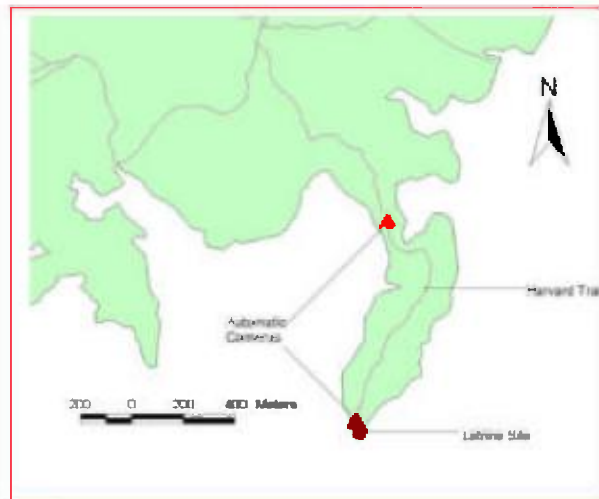


Fig. 1. Map of study area on Barro Colorado Island. Scale 200m.

Data from scats collected at the latrine enable us to identify prey items taken by the same ocelots which were also recorded in the photographs. Monthly collections turned up 15-20 scats; later bi-monthly collections resulted in about 8 scats per visit. Scats were collected every 15 days so as not to interfere with the animals' activities. Scats were identified as ocelot scats by their associated tracks, photos, and measured dimensions (Emmons 1987; Ludlow & Sunquist; 1987). Each sample (one complete scat) was disintegrated manually. In accord with standard fecal analysis procedures (Aranda 1994), the components were washed with detergent and a disinfectant solution to inhibit the growth of fungi on the samples. A sieve was used to eliminate excess water, and the components were dried at room temperature, in an oven, or in a dry-room. The prey parts were identified to species in most cases with the use of a stereoscope and by comparison with a reference collection at the Museum of the University of Panama (Moreno 2002).

Remote Photography and Animal Identification. - Cameras in the pass with the ability to automatically photograph passing wildlife have been in use on BCI since the 1920's (Chapman 1929). However, only recently has there been a systematic study using these cameras on the island. These cameras have been monitored since 1994 enabling us to gather temporal and spatial information on the mammal/ocelot population (Giacalone & Moreno. unpub data).

Photographs from up to 16 cameras on other parts of the island were used to identify locations away from the latrine that were visited by the sub-population of "Harvard cats" (Giacalone & Moreno, unpub. data). An automatic infrared-sensing camera (©CamTrakker, Camtrack South Inc.) was first installed at the Harvard latrine on April 4, 2001. A second camera was paired with the first on July 11, 2001. We used standard ISO-200 speed, 36-exposure film. Ocelots like many other cats have unique markings that can be used to identify individuals (Casariego-Madorell 1998; Karanth 1995). We established paired cameras to correlate right and left sides of the cats' bodies. By analyzing spot or marking patterns, we were able to identify individual ocelots (Trolle & Kery 2003). Time-stamps on the photographs showed the times when ocelots visited the latrine area. Examining these photographs and identifying unique features of individual spotting patterns enabled us to identify individual ocelots, even when only small portions of the body were visible. In addition, we analyze the hour of those pictures to show the activity patterns of this subpopulation of ocelots.

RESULTS

Photographic data.- Ocelot photographs were first obtained from the Harvard Trail location at marker H-21 on April 4, 2001 and the last photograph of an ocelot was taken October 10, 2001. During the entire period of this study, the cameras took 10 rolls of film. Each roll lasted from 10 - 32 days. Each roll produced from two to nineteen ocelot photographs. In total, 64 photographs of four individual ocelots were taken: one adult female, one immature female, and two adult males (Fig. 2.). All four of the ocelots that were photographed as they visited the latrine are described below.



Left to right: R-34, I-23



Left to right: V-19, G-22

Fig. 2. Four ocelots photographed near Harvard Trail latrine.

Ocelot R-34, a mature male, appeared at the latrine on 4 April and frequented the site for the next few days, while female I-23 was visiting the latrine. He usually frequented the site in the morning, afternoon, and early evening, on days when the other male was not present. An injury to this ocelot's left ear was visible in all April photographs. This wound was still unhealed when the animal was captured and radio-collared on 25 July. He appeared in photographs from other locations up to two kilometers from the latrine.

Ocelot I-23, a breeding female, was photographed several times in April. On April 5 she appeared to be in estrus when photos showed her with pink vulva. She often appeared at this site by mid-day between 11:00 and 15:00, showing a daytime activity. She was also photographed carrying a dead spiny rat (*Proechimys*) on 27 October

2000 and later with a young kitten following her on 17 December 2000 a kilometer from the latrine location.

Ocelot V-19, a mature male, first appeared at marker H-21 on April 8, 2001, and visited the latrine frequently in April and May, usually in the middle of the night. The photographs show a rash that appears to be mange on his foreleg at the elbow joint. This ocelot was also photographed on another trail at least 2 km from the Harvard latrine in January through April 2000.

Ocelot G-22, an immature female, was the kitten of I-23, that appeared at the latrine on 2, 22, and 24 June 2001, twice around midnight and once just before dawn. She was previously photographed one kilometer from this site as a young kitten with her mother, on 17 December 2000.

Latrine use.- The greatest latrine visitation or use was between April 4 and 10, when 19 ocelot photographs were taken of three individuals, the adult female and two adult males. The next most active period was from August 3 to 19, when 8 photos were taken of the same 3 individuals. From August 29 to September 3, there were 7 photos of the adult female and one male. The greatest ocelot activity during the April - October study period at the latrine was in April. A total of 26 visits to the latrine area were recorded by photography, and 9 scats were collected, compared to a monthly mean of 8 scats for the rest of the study period.

Circadian Activity.- Circadian activity patterns of BCI ocelots are shown in Fig. 3. According to the time stamps on a sample of (N= 64) photographs, BCI ocelots are mainly nocturnal (N= 62.5% and D=37.5%) ($X^2 = 5.06$, $P = 0.05$).

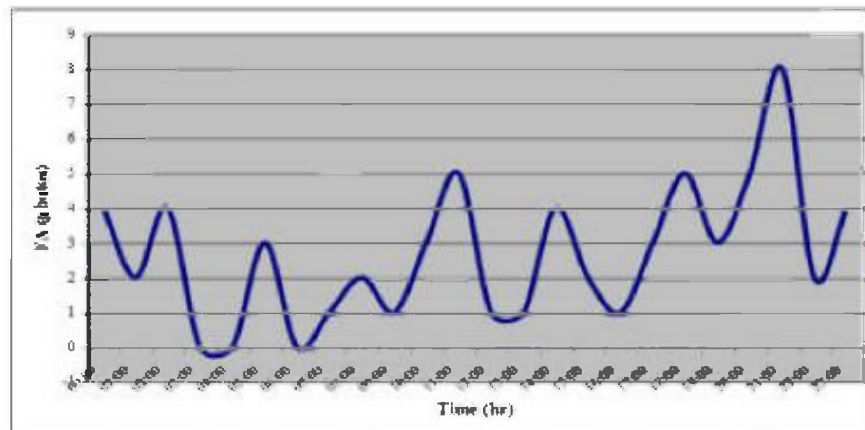


Fig. 3. Circadian activity of BCI ocelots on Harvard Trail.

Prey determined from scats.- A total of 74 scats, which included 92 prey items, were collected from the Harvard latrine between August 1999 and December 2001. The percentages of prey items found in these 74 scats are presented in Tables 1 and 2. BCI ocelots have preference for rodents, both small and large, (42.3%) and edentates (31.5%), followed by reptiles (14.1%) (Table 1). Ocelots from both BCI and Cocha Cachu in Peru preferred mammals as prey, but differed in the ranking preference of their prey (Table 2). For example, Peruvian ocelots feed mostly on small rodents (58.7%).

Table 1.- Ocelot scat analysis of material collected at Harvard latrine on Barro Colorado Island, Panama. Prey grouping is by taxonomic category (N=74, prey item = 92).

Group	Frequency of Appearance	Percent Occurrence (%)
Marsupials (opossums)	3	3.26
Edentates (sloth, anteater, armadillo)	29	31.52
Rodents (agouti, spiny rat, squirrel)	39	42.39
Primates (capuchin)	4	4.34
Carnivores (coatimundi)	3	3.26
Reptilia	13	14.13
Unidentified mammals	1	1.09
Total	92	100

Table 2. Ocelot diet compared across study sites: Percentages of prey species taken by ocelots at Harvard latrine (this paper) (92 prey items in 74 scats) compared with data from Peru (Cocha Cashu: 177 prey items in 62 scats; Emmons 1987).

Category	Emmons (1987) (%) N= 177	This paper (%) N= 92
Marsupials	5.64	3.26
Bats	1.69	-
Small rodents	58.75	22.81
Rabbits	1.13	-
Large mammals (> 1kg) - Large rodents	5.64	19.56
- Other large terrestrial (armadillo, tamandua, coati)	-	7.60
Arboreal mammals (2 species of sloth and 1 primate)	2.26	31.50
Birds	10.73	-
Reptiles	12.00	14.13
Fish	2.25	-

DISCUSSION

Latrine use and marking behavior. - In this study, the combined use of photographs and scat collections provided several insights into ocelot behavior. This is the first time also that the use of an ocelot latrine by many different individuals has been confirmed by photographic data. Harvard latrine was used by both males and females, which suggests that latrines have a social function other than just marking territory. The time of the greatest activity at the latrine may have occurred during the mating period, since one of the males (R-34) visited the latrine intensively when the adult female (I-23) was apparently in estrus. His visits were followed by visits from another mature male (V-19).

Visual evidence of estrus condition in a visiting female ocelot, and coincidental and frequent visits by two adult male ocelots, indicate a social purpose for the latrine. From our results, we inferred three social behaviors related to latrine use by ocelots. The ocelot latrines on BCI appear to be locations to communicate the time for mating (Moreno & Giacalone in prep.) Males may assess the reproductive status of local female inhabitants; females can communicate their reproductive state; and males can leave advertising of their own presence for other males or females, and identify males who use the same area. Frequent visits to a latrine by males when a female is in

estrus may help the males locate a receptive female as well as inform females of the presence and identities of males (Kitchener 1991; Smith et al. 1988).

In Panama, Moreno reported four latrines in abandoned game warden stations in Soberania National Park on the mainland opposite to Barro Colorado Island (unpub. data). Along the two kilometer length of Harvard trail on BCI, scats were found generally at the latrine at the end of the trail and in two or three other sites along the length of the trail, though they were not locations that were used repeatedly, as are true latrines. Ocelots on BCI deposit many scats in latrines located in cement structures such as game warden look-out posts, on the tops of wire cages, against trees with wide buttressed bases and large roots, up on fallen trees and sometimes along trails. Generally, these sites provide a visually distinctive, somewhat sheltered location where scent may be preserved (Chinchilla 1997; Ludlow & Sunquist 1987; Moreno, pers. obs.).

Throughout their range, ocelots have variable marking behavior. In Venezuela, Ludlow and Sunquist (1987), reported latrines at the intersection of roads, and observed dozens of feces at single sites. Emmons (1988) did not find great accumulations of scats in Cocha Cashu, but she reported that there was a tendency for males (identified by tracks) to use some sites repeatedly to deposit feces. Chinchilla (1997) in Costa Rica's Corcovado National Park reported two ocelot latrines, one of which was in an abandoned game warden station.

Circadian activity. - According to photographic data for this study (Fig. 3), BCI ocelots are mainly nocturnal (62.5%), showing activity patterns fundamentally similar to those observed in Peru (Emmons 1988), and Venezuela (Ludlow & Sunquist 1987). Although BCI ocelots are mainly nocturnal, significant diurnal activity (37.5%) occurs within this population (Moreno pers. obs.). This finding is consistent with Enders (1935) who reported that on BCI Goldman and Chapman found ocelots active at almost any hour of the day, depending on the principal prey species' activity pattern. Similarly, Crawshaw and Quigley (1985) reported highly diurnal activity in Brazilian pantanal ocelots.

Proportions of prey species in diet. - As seen in Table 2, BCI ocelots take different proportions of prey types compared with ocelots in Cocha Cashu, Peru (Emmons 1987). BCI scats contain fewer prey items per scat (1.2) compared with those from Peru (2.8). This difference might be explained by the observation that BCI ocelots feed on higher proportions of larger prey than Peruvian ocelots. The scats from Peru were predominantly filled with rats and smaller rodents (58%), whereas BCI scats contained only 22% rats, squirrels, and smaller rodents.

BCI ocelots prey upon a mammalian carnivore, coatimundi (*Nasua narica*), but Peruvian ocelots have not been reported to do so. On the other hand, BCI ocelots' scats contain no fish or birds, also unusual when compared with other studies (Emmons 1987). Ocelot tracks have been observed twice (Moreno, unpub.data) near bird remains, but the scats showed no evidence of bird prey. Sloths, both two-toed and three-toed sloth species, make up more than a quarter of the BCI ocelot prey items, as opposed to barely 2% in Peru. However, one must keep in mind that sloths are rare in Manu, Peru (Leigh 1999). These sloths are both larger (4 - 8 kg) and more arboreal than the usual prey recorded in other ocelot studies (Konecny 1989; Emmons 1987; Ludlow & Sunquist 1987; Devilla-Mesa 1998; Chinchilla 1997). One possible explanation is that sloths' main predator, the harpy eagle, has not been present on the island for many decades (except for a brief failed re-introduction attempt in 2000), allowing for a robust sloth population. On the other hand, capuchin monkeys are the only one of four species of monkey on BCI found in BCI ocelot scats, and the only species that spends a great deal of time foraging on the ground.

Prey size and predator niche. - Our results show that BCI ocelots are preying on larger prey than at Cosa Cashu, Peru (Emmons 1987). This may be related to the fact that many of the scats collected were from the large males that frequented the latrine. Some authors consider the taking of large prey a trait of well-developed adult males (Mondolfi 1982). Nevertheless, the role of ocelots on BCI seems to overlap with that of larger cats, unlike the role of ocelots where larger predators are abundant. While there is a relatively low abundance of larger cats on the island, they are not completely absent at this time. There have been sightings, tracks, scats, and photographs of perhaps three pumas (*Puma concolor*) since 1999.

This study indicates how much more remains to be understood about this endangered species. Comparative data between habitat types will afford a more complete understanding of the roles a predator may play in those habitats, and the impact of its predation on prey populations. Furthermore, in species with wide geographic ranges, the plasticity of mammalian behaviors among various habitats is an important adaptation for success under variable selective pressures. We believe that it is important to keep these factors in mind in order to better understand the role of these threatened species and establish successful conservation and management plans.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the following organizations and persons: the Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) for support of the project; Gregory E. Willis for his boundless energy in the field and insights into mammalian ecology; Giselle Muschett for her constructive comments on the manuscript and help with the translation; Bonifacio de Leon for his knowledge of animal behavior; Montclair State University for permitting J. Giacalone time in the field; Dr. Ira Rubinoff for his love of cats and support to the project; Dr. Egbert G. Leigh, Jr. for lively and enlightening discussion of ocelots and their prey, and for improvements to the manuscript; Dr. Joseph Wright for his encouragement and collaboration; Pedro Mendez and Ivan Dominguez for collecting the first ocelot scats that Moreno analyzed; the CamTrakSouth staff, especially Dan Stoneburner, for their technical support, donations, and encouragement; and a special thanks to BCI's game wardens for informing Moreno of the Harvard latrine and for all their continued support and deep interest in the wildlife of BCI. Dr. Rafael Samudio Jr., Dr. Roland Kays, Patrick Kelley, Enzo Aliaga-Rossel and Paula Capece for comments on the manuscript. And most of all, thanks to all the gorgeous ocelots of BCI, whose curiosity and tolerance of camera flashes gave us many photographs to start this project.

REFERENCES

Aranda, M. 1994. Importancia de los pecaries (*Tayassu* spp.) en la alimentación del jaguar (*Panthera onca*). Acta Zoológica de México 62: 11-22.

Casariello-Madorell, Ma. A. 1998. Estimación del tamaño poblacional del ocelote (*Leopardus pardalis*) en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, Mexico. Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM. Mexico. 51 pp.

Chapman, F.M. 1929. My Tropical Air Castle. D. Appleton. New York.

Chinchilla, F.A. 1997. La dieta del Jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Felis concolor*) y el manigordo (*Felis pardalis*) (Carnivora, Felidae) en el Parque Nacional Corcovado, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 45 (3): 1223- 1229.

Crawshaw, P.G., Jr. & H.B. Quigly. 1989. Notes of ocelot movement and activity in the Pantanal region, Brazil. Biotropica 21:377-379.

De Villa Mesa, A. 1998. Análisis de los hábitos alimentarios del ocelote (*Leopardus pardalis*) en la Selva baja Caducifolia de la región de Chamela, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 59 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.

_____. 1987. Comparative feeding ecology of felids in a neotropical rainforest. Behav. Ecol. Sociobiol. 20:217-283.

Emmons, L.H., P. Sherman, D. Bobster, A. Goldizen & J. Terborgh. 1989. Ocelot behavior in moonlight. Pp. 232-242. In: Redford, K.H. & J.F. Eisenberg (eds). Advances in neotropical mammalogy. The Sandhill Crane Press, Inc. Florida, USA. 614 pp.

Enders, R.K. 1935. Mammalian life histories from Barro Colorado Island, Panama. Bull. Mus. Compar. Zool. 78:383-502.

Karanth, U. 1995. Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera traps data using capture-recapture models. Biol.Conser. 71: 333-336.

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

Konecny, M.J. 1989. Movement patterns and food habits of four sympatric carnivore species in Belize, Central America. *In*: Redford, K.H. & J.F. Eisenberg (eds). Advances in Neotropical Mammalogy. The Sandhill Crane Press, Inc., Florida. Pp.243-264.

Leigh, E. 1999. Tropical forest ecology, a view from Barro Colorado island. Oxford University press. 245 pp.

Ludlow, M.E. & M.E. Sunkist. 1987. Ecology and behavior of ocelots in Venezuela. National Geographic Research 3:447-461.

Martinez-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.

Mondolfi, E. 1982. Biological status of the small wild cats of Venezuela. International Cat Symposium, Texas A & I Univ., Kingsville, Texas.

Moreno, R. 2002. Hábitos alimentarios de ocelotes (*Leopardus pardalis*) y pumas (*Puma concolor*) en dos localidades de la Cuenca del Canal de Panamá. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. 68 pp.

Navarro, D. 1985. Status and distribution of the ocelot (*Felis pardalis*) in South Texas. Tesis de Maestría. Texas A & I University, Kingville. 91 pp.

Smith, J.L. D., C. McDougal & D. Miquelle. 1988. Scent marking in free-ranging tigers, *Panthera tigris*. Anim. Behav. 36:1-10.

Terborgh, J. 1992. Maintenance of diversity in tropical forests. Biotropica 24(2b):283-292.

Tewes, M. E. 1986. Ecological and behavioral correlates of ocelots' spatial patterns. Doctoral Thesis. University of Idaho, Moscow. 128 pp.

Trolle, M., & M. Kery. 2003. Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture- recapture analysis of camera- trapping data. *Journal of Mammalogy*. 84: 607-614.

Wright, S. J., H. Zeballos, I. Dominguez, M. M. Gallardo, M. C. Moreno & R. Ibanez. (2000). Poachers alter mammal abundance, seed dispersal, and seed predation in a neotropical forest. *Conservation Biology* 14: 227-239.

Wright, S. J., C. Carrasco., O. Calderon & S. Paton. 1999. The El niño southern oscillation, variable fruit production, and famine in a tropical forest. *Ecology* 80 (5): 1632-1647.

Wright, S.J., M.E. Gompper & B. de León. 1994. Large predators, keystone species in neotropical forests? The evidence from Barro Colorado Island. *Oikos* 71:279-294.

Recibido mayo de 2004, aceptado agosto de 2005.



LA VEGETACIÓN Y FLORA DE LA ISLA VIVEROS, ARCHIPIÉLAGO DE LAS PERLAS, PANAMÁ

Jorge A. Mendieta B.

Departamento de Botánica de la Universidad de Panamá.

e-mail: mendija@cwpanama.net

RESUMEN

La Isla Viveros forma parte del Archipiélago de las Perlas y se encuentra al norte de la isla del Rey. La caracterización de la flora se hizo con base al muestreo en transectos de 1.5 y 3 Km. de largo por 10 m de ancho. La isla se encuentra cubierta de bosque secundario de diferentes edades, lo que resulta en fragmentos de bosques de diferentes alturas. Los bosques secundarios (bajo, de malgueto y secundario alto) comparten gran cantidad de especies, variando su desarrollo en función de la edad del bosque. La vegetación y la flora de la Isla son similares a las observadas en tierra firme, particularmente a aquellas de las tierras bajas. Se registraron 97 especies distribuidas en 53 familias. Las familias mejor representadas son: Fabaceae y Poaceae. Treinta y cuatro especies son de utilidad antropológica y siete sirven de alimento a la fauna local. Dos especies son consideradas vulnerables por la UICN y seis aparecen en las listas de ANAM como especies vulnerables o en peligro.

PALABRAS CLAVES

Flora, zonas de vida, dosel, bosque secundario, bosque de mangle, especies útiles, especies vulnerables, especies en peligro, vegetación.

ABSTRACT

Isla Viveros is part of the Archipiélago de Las Perlas and is located north of Isla del Rey. This is an insular territory, with similar vegetation to the secondary rain forest found in others parts of Panamá. The Island is covered by secondary forest of different age. The species of different forest (dwarf secondary forest, malagueto secondary forest and high secondary forest) are similar. Ninety seven species in 53 families are reported. Families with the highest number species are Fabaceae and Poaceae. Thirty four species are of current uses by man and 7 are consumed by animals. According to the UICN list, two are considered endangered and six are considered vulnerable by ANAM.

KEYWORDS

Floristic, life zone, canopy, secondary forest, mangrove forest, current use plant, vulnerable specie, endangered specie, vegetation.

INTRODUCCIÓN

La Isla Viveros forma parte del Archipiélago de Las Perlas y se localiza al Norte de Isla del Rey (San Miguel) en las coordenadas 8°25' Latitud Norte y 79°00' Longitud Oeste (Fig. 1). Esta pequeña isla tiene una superficie aproximada de 500 hectáreas, la mayor parte de las cuales se encuentran cubiertas de bosque secundario. La Isla Viveros se encuentra a 55 Km. de tierra firme, por lo que resulta ser un sitio de interés para estudios botánicos. Esta isla tiene su origen durante las actividades volcánicas del Cuaternario. Aunque es de origen insular, durante la última glaciación se mantuvo unida al continente debido a variaciones en la línea costera por descenso en el nivel del mar (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 1975).

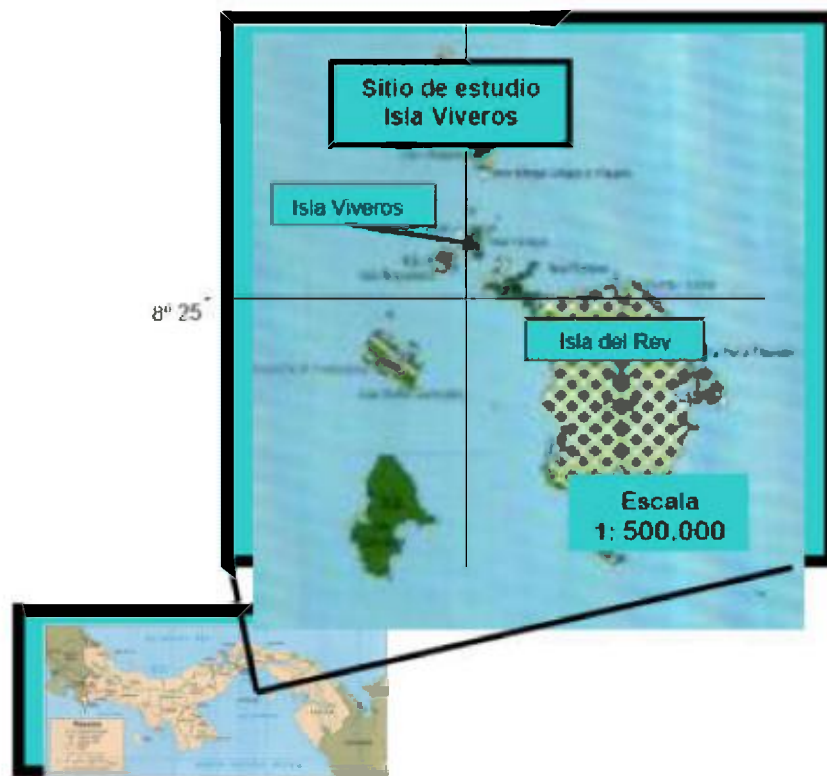


Fig. 1. Localización del sitio de estudio, Isla Viveros (The Louis Berger Group, Inc. & T. Y. Lin Internacional. 2000. Mapa de Vegetación de Panamá. Escala 1:500,000).

A pesar de la importancia ecoturística y su interés botánico, la flora del Archipiélago de Las Perlas es poco conocida. Por otro lado, los habitantes del archipiélago desarrollan actividades agrícolas de subsistencia que están afectando la vegetación y transformando los bosques, poniéndolos en peligro de desaparecer. En el caso de la Isla Viveros, ésta se encuentra deshabitada actualmente; sin embargo, ha sido utilizada con anterioridad para producir alimentos básicos. De acuerdo a la versión de algunos vecinos del lugar, los terrenos en estudio no han sido utilizados desde hace más de 25 años lo que ha permitido el establecimiento de bosque secundario de diferentes edades. Este estudio plantea como objetivo principal recabar información sobre la composición florística de los diferentes tipos de vegetación en la Isla Viveros, para comprender su estado y estructura florística.

MÉTODOLÓGIA

La metodología empleada en este estudio incluyó: la caracterización de la vegetación y la descripción de la flora. El muestreo se realizó durante el mes de noviembre de 2004.

Caracterización de la Vegetación

La caracterización de la vegetación incluyó una descripción morfológica y cuantitativa de los recursos ecológicos y florísticos en el área estudiada. Se recabó la información existente a partir de mapas y fotos aéreas (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 1975). Con las fotografías aéreas a escala 1:20,000, se logró reconocer la estratificación de la superficie boscosa e identificar los cuatro tipos de bosques. La edad de los diferentes fragmentos fue estimada, utilizando la información ofrecida por los lugareños y considerando la altura de los árboles y las especies presentes.

El muestreo se realizó utilizando dos transeptos de 10 metros de ancho (Fig. 2). El primer transepto, con orientación de 45° Noreste, se localiza en la península ubicada al noreste de la isla. Este transepto tiene una longitud de 3 kilómetros y cubre una superficie de 3 hectáreas. El segundo transepto, con una orientación de 180° Sur, se localiza en el sector central de la isla paralelo a pista de aterrizaje abandonada. Este transepto tiene una longitud de 1.5 kilómetros y cubre una superficie de 1.5 hectáreas. En estos transeptos observan

fragmentos de bosque representativos de las diferentes categorías identificadas durante su estratificación.

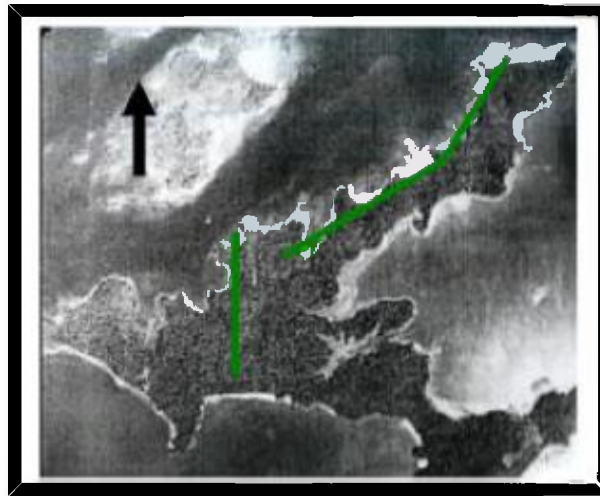


Fig. 2. Ubicación de los transeptos de muestreo.

Descripción de la Flora

Se preparó un listado de las especies de plantas vasculares, ordenándolas por familias, indicando su uso y condición de acuerdo a las listas de la UICN, CITES y ANAM. Para verificar el nombre científico se utilizó: Catálogo de las Plantas Vasculares de Panamá (Correa et al., 2004), The International Plant Name Index (www.ipni.org, 2004) y la base de datos Tropicos del Missouri Botanical Garden (www.mobot.org 2005). Además, se utilizó como apoyo la colección del Herbario de la Universidad de Panamá (PMA).

Los documentos utilizados para determinar la situación e interés de las especies son: apéndices de la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies en Peligro (CITES 2005), el Libro Rojo de la UICN (UICN 2004) y el Primer Informe de Riqueza y Estado de la Biodiversidad de Panamá (ANAM 2000). En adición a las especies amenazadas o en peligro, se han señalado las especies de importancia ecológica, médica, alimenticia, para la construcción, ornamentales y especies endémicas (ANAM 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Isla Viveros se encuentra en la Zona de Vida Bosque Húmedo Tropical de acuerdo al sistema de clasificación ecológica elaborado por Holdridge (1996). En esta Zona de Vida, los bosque naturales presentan un dosel con más de 20 metros de altura y una gran diversidad de especies arbóreas. Sin embargo, en el área de estudio se observa que el paisaje es dominado por bosques secundarios no mayores de 20 años de edad. Esto significa que el bosque original ha sido reemplazado por vegetación natural de crecimiento secundario, luego de haber sido deforestados y utilizados los terrenos.

Descripción de los Bosques

Con base en el estudio de la fotografía aérea de la Isla, se identificaron cuatro tipos de bosque: bosque de mangle, bosque secundario bajo, bosque secundario de malagueto y bosque secundario alto. Los estratos de las tres últimas categorías, presentan especies similares variando la densidad de sus poblaciones y la altura del dosel. A continuación se describen las características sobresalientes de cada tipo de bosque.

Bosque de mangle

Los bosques de mangle se localizan en zonas resguardadas de la influencia de las mareas fuertes. En el área estudiada se observan dos fragmentos de bosque de mangle. En ambos casos se trata de fragmentos relativamente pequeños de 5 hectáreas cada uno, y se localizan en el sector noreste de la Isla.

En estos bosques las especies arbóreas que dominan son: *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), *Rhizophora harrisonii* (Rhizophoraceae), *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) y *Conocarpus erectus* (Combretaceae). Es común encontrar el liquen epifito del género *Ramalina*, sobre los árboles de mangle. Entre las hierbas registradas se tiene una Poaceae (*Jourvea straminea*), de la cual se alimentan las tortugas y una Cyperaceae (*Fimbristylis spadicea*). En ambos casos se trata de hierbas que viven sumergidas, aunque algunas veces se observan en la zona intermareal quedando expuestas al bajar la marea. La altura del dosel de estos bosques varía a medida que se alejan de la influencia de las mareas y el agua salada. En la zona que hace frente al oleaje, el dosel alcanza escasamente los cuatro metros. Sin embargo,

en la zona más alejada de la influencia del oleaje, éste alcanza 15 metros de altura.

Bosque secundario bajo

El bosque secundario bajo es un bosque de aproximadamente 10 años de edad (rastroy), en el cual se pueden diferenciar dos estratos arbóreos (dosel y emergentes). El dosel tiene una altura aproximada de 8 metros y en él domina el negrito (*Guazuma ulmifolia*), acompañado de otro gran número de especies. Otras especies del dosel son: el cortezo (*Apeiba tibourbou*), almácigo (*Bursera simarouba*), jobo (*Spondias mombin*), nance (*Byrsonima crassifolia*), guácimo colorado (*Luehea speciosa* y *Luehea seemanni*) y poro poro (*Cochlospermum vitifolium*). En el estrato emergente domina el guarumo (*Cecropia sp.*), con una altura aproximada de 18 m.

Entre las especies arbustivas se observan: *Bactris major* (corozo), *Gustavia superba* (membrillo), *Hirtella racemosa* (garapato) y *Cordia spinescens*. Entre las plantas herbáceas más comunes están: *Aechmea magdalenae* (pita), *Scleria bracteata* (cortadera), *Costus sp.* (caña agria), *Selaginella arthritica* (para palo), *Rynchospora cephalotes*, *Lantana hirta* y *Waltheria indica*.

Bosque secundario de malagueto

Este es un bosque secundario de 10 a 15 años de edad, y al igual que en el tipo de bosque anterior se pueden diferenciar dos estratos arbóreos (dosel y emergentes). El bosque de malagueto presenta un dosel con una altura aproximada de 6 metros y en él domina el malagueto hembra (*Xylopia aromatica*) y el malagueto macho (*Xylopia frutescens*). Además, se observan numerosas especies como: negrito (*Guazuma ulmifolia*), pava (*Nectandra lineata*), vara santa (*Coccoloba cf. tuerckeimii*), guabito (*Inga sp.*), cortezo (*Apeiba tibourbou*), jobo (*Spondias mombin*), nance (*Byrsonima crassifolia*), guácimo colorado (*Luehea speciosa* y *Luehea seemanni*) y chirimoya (*Ammona spraguei*), entre otras. En el estrato emergente domina el guarumo (*Cecropia sp.*), con una altura aproximada de 18 m.

La vegetación arbustiva y herbácea es similar a la observada en el bosque secundario bajo. Entre las especies arbustivas se observan: cedrón (*Simaba cedron*), corozo (*Bactris major*), membrillo (*Gustavia superba*), *Cordia spinescens* e *Hirtella racemosa*. Entre las plantas

herbáceas y arbustivas más comunes se observan: chumico (*Dolioscarpus dentatus*), pasto (*Olyra latifolia*), pita (*Aechmea magdalenae*), cortadera (*Scleria bracteata*), caña agria (*Costus sp.*) y para palo (*Selaginella arthritica*).

Bosque secundario alto

El bosque secundario alto tiene una edad aproximada de 15 años y la mayoría de los árboles tiene más de 10 centímetros de diámetro en la base del tronco. En el dosel del bosque secundario alto se observa una mayor mezcla de especies arbóreas que en los bosques antes descritos. Entre las especies registradas en este estrato se tiene: fruta de pava (*Shefflera morototoni*), malagueto hembra (*Xylopia aromatica*), malagueto macho (*Xylopia frutescens*), laurel (*Cordia alliodora*), nance (*Byrsonima crassifolia*), vara santa (*Coccoloba cf. tuerckeimii*), manglillo de sabana (*Cassipourea elliptica*), cortezo (*Apeiba tibourbou*) y guácimo colorado (*Luehea seemannii*). En el estrato emergente se observan con frecuencia: jobo (*Spondias mombin*) y balso (*Ochroma pyramidale*), con alturas mayores que 18 metros.

La vegetación arbustiva y herbácea es similar a la observada en los casos anteriores. Entre las especies arbustivas se observan: cedrón (*Simaba cedron*), corozo (*Bactris major*), membrillo (*Gustavia superba*) y *Cordia spinescens*. Entre las plantas herbáceas más comunes se tiene: hinojo (*Piper peltata*), chumico (*Dolioscarpus dentatus*), pasto (*Olyra latifolia*), pita (*Aechmea magdalenae*), cortadera (*Scleria bracteata*), caña agria (*Costus sp.*) y caña blanca (*Gynnerium sagittatum*).

Las especies observadas en los diferentes bosques estudiados son similares a las registradas en los bosques de tierras bajas en la provincia de Panamá, contrario a lo que se podría esperar de la vegetación insular, distante de tierra firme (Mayo & Correa 1994; Croat 1978)). Posiblemente esta similitud de especies se explica por la unión de estas islas a tierras continentales durante la última glaciación, hace algo más de 12,000 años (Jaén 1981).

Flora del área estudiada

La flora del área estudiada comprende especies propias de bosques secundarios de tierras bajas. A continuación se presentan los

resultados, incluyendo las especies útiles y las amenazadas y protegidas.

Especies registradas

Las especies registradas son propias de los bosques secundarios de la Zona de Vida Bosque Húmedo Tropical y son similares a las registradas en tierra firme, especialmente en el caso de los bosques semicaducifolios observados en el área canalera (COBIOPA 1999; Mayo & Correa 1994). Se registraron 97 especies, distribuidas en 53 familias. El grupo mejor representado es el de las plantas con flores (Magnoliopsida y Liliopsida), con 94 especies en 51 familias. En las plantas con flores la Clase Magnoliopsida (dicotiledóneas) está representada por 76 especies (78% del total de especies registradas), distribuidas en 40 familias.

Las familias mejor representadas, en número de especies, son: Fabaceae (leguminosas) con 8 especies y Poaceae (gramíneas) con 6 especies. Le siguen en orden de importancia: Cyperaceae con 5 especies y Melastomataceae, Asteraceae y Annonaceae con 4 especies cada una. El resto de las familias (43) están representadas por pocas especies. La mayoría de las especies de las familias mejor representadas requieren de mucha luminosidad y son de rápido crecimiento. Los detalles de las especies registradas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Especies Registradas en los diferentes tipos de bosques y sus usos.

*Significado del código numérico: 1- alimento humano, 2- medicinal, 3- madera, 4-ornamental, 5-alimento para la fauna, 6- artesanía, 7- construcción rural y 8- combustible.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	USO*
CLASE MAGNOLIOPSIDA			
Acanthaceae	<i>Aphelandra sinclairiana</i> Nees		4
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	1-4
Annonaceae	<i>Annona spraguei</i> Saff.	Chirimoya	5
	<i>Guatteria</i> sp.		
	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Malagueto	
	<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Malagueto macho	

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	USO*
Apocynaceae	<i>Thevetia</i> sp.		
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerl. & Frodin	Fruta de pava	4-5
Asteraceae	<i>Baccharis</i> cf. <i>pedunculata</i> (Mill.) Cabrera <i>Calea jamaicensis</i> (L.) L. <i>Condylidium iresinoides</i> (Kunth) K. & R. <i>Mikania micrantha</i> H.B.K. <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	Balso	4-6
Bombacaceae	<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson <i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand	Cedro espino	3-4 4
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken <i>Cordia anisophylla</i> J.S. Mill. <i>Cordia spinescens</i> L.	Barrigón Laurel	3-4
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. <i>Protium</i> sp.	Almácigo	2
Cecropiaceae	<i>Cecropia</i> sp.	Guarumo	
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	Garrapato	
Clusiaceae	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch. <i>Vismia macrophylla</i> Kunth	Sangrillo	
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Poro poro	4
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i> L. <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaerth.	Mangle botón Mangle blanco	
Connaraceae	<i>Connarus panamensis</i> Griseb.		
Dilleniaceae	<i>Dolioscarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	Chumico	
Fabaceae	<i>Inga</i> sp. <i>Cassia fruticosa</i> Mill <i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth & Oerst <i>Dioclea</i> cf. <i>guianensis</i> Benth <i>Entada polystachya</i> (L.) Dc. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. <i>Hymenaea coubaril</i> L. <i>Swartzia simplex</i> (Sw.) Spreng.	Guabito	1 3-4 1-2-3 4
Gentianaceae	<i>Coutoubea</i> sp.		

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	USO*
Gesneriaceae	<i>Besleria laxiflora</i> Benth.		
Lauraceae	<i>Nectandra lineata</i> (Kunth) Rohwer	Sigua	5
Lecythidaceae	<i>Gustavia superba</i> (Kunth) O. Berg.	Membrillo	1-4-5
Loranthaceae	<i>Oryctanthus</i> sp.		
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Nance	1-2
	<i>Byrsonima spicata</i> (Cav.) DC.		
Melastomataceae	<i>Conostegia speciosa</i> Naudin		
	<i>Miconia dodecandra</i> Cogn.		
	<i>Miconia impetolaris</i> (Sw.) D. Don var.		
	<i>Miconia</i> sp.		
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Higuerón	5
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.	Guayabillo	
Nyctaginaceae	<i>Guapira</i> sp.		
Passifloraceae	<i>Passiflora</i> sp.		
Piperaceae	<i>Piper peltatum</i> L.	Hinojo	2-4
	<i>Piper</i> sp.	Hinojo	
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i> cf. <i>tuerckheimii</i> Donn. Sm.		
Rhizophoraceae	<i>Cassipourea elliptica</i> (Sw.) Poir.	Manglillo	
	<i>Rhizophora harrisonii</i> Lecchn.	Mangle rojo	7-8
	<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangle rojo	7-8
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Pillinolo	1-5
	<i>Psychotria allenii</i> Standl.		
	<i>Psychotria luxurians</i> Rusby		
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> cf. <i>setulosum</i> P. Wilson	Arcabú	3
Sapindaceae	<i>Serjania</i> cf. <i>decapleuria</i> Croat		
Simaroubaceae	<i>Simaba cedron</i> Planch.	Cedrón	2
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	Guácimo, negrito	1-4
	<i>Helicteres guazumaefolia</i> Kunth		
	<i>Waltheria indica</i> L.		
Theaceae	<i>Pelliciera rhizophorae</i> Triana & Planch	Mangle caballero	
Tiliaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Cortezo	2-4
	<i>Luehea seemanni</i> Triana & Planch	Guácimo colorado	
	<i>Luehea speciosa</i> Wild.	Guácimo colorado	
Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume		
Verbenaceae	<i>Cornutia grandiflora</i> (Schkecht & Cham.) Chaner		
	<i>Lantana hirta</i> Mold.		
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> Rich.		

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	USO*
CLASE LILIOPSIDA			
Araceae	<i>Philodendron</i> sp.		
Arecaceae	<i>Bactris major</i> Jacq.	Caña brava	1
	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	1-2
Bromeliaceae	<i>Aechmea magdalenae</i> André	Pita	1-6
Costaceae	<i>Costus</i> sp.	Caña agria	2
Cyperaceae	<i>Cyperus odoratus</i> L.		
	<i>Fimbristylis spadicea</i> (L.) Vahl		
	<i>Rynchospora cephalotes</i> (L.) Vahl.		
	<i>Rynchospora contracta</i> (Nees) J. Raynal		
	<i>Rynchospora</i> sp.		
	<i>Scleria bracteata</i> Cav.	Cortadera	
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea standleyi</i> Morton		
Poaceae	<i>Gynierium sagittatum</i> (Aubl.) Beauv.	Caña blanca	7
	<i>Jouvea straminea</i> Fourn.		5
	<i>Lasiacis procerrima</i> (Hack.) Hitchc.		
	<i>Lasiacis ruscifolia</i> (Kunth) Hitchc.		
	<i>Ohyra latifolia</i> L.		
	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) Beauv.		
HELECHOS Y ALIADOS			
Schizaeaceae	<i>Lygodium venustum</i>		
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i> cf. <i>arthritica</i>	Para palo	2-4
LIQUENES			
Liquen	<i>Ramalina</i> sp.		

Como se puede observar en el cuadro anterior, los hábitos de crecimiento en las especies registradas son variados: árboles, arbustos, hierbas, bejucos, epifitas y parásitas. El grupo con mayor número de especies es el de árboles (48). Le siguen en orden de abundancia: hierbas (24), arbustos (12), bejucos (10), epifitas (2) y parásitas (1).

Especies útiles

De las 97 especies registradas, 34 tiene algún tipo de utilidad. Los mayores usos que se dan a estas especies son como ornamentales, medicinales y alimenticias (Cuadro 1) y han sido citadas como plantas útiles por ANAM (2000) y Zapata (1998). Entre las especies utilizadas como alimento por la fauna se observan seis de las especies listadas.

Especies amenazadas y protegidas

Las plantas observadas en la Isla Vivero son de amplia distribución geográfica y no se identificaron especies endémicas. Sin embargo, existe una Rubiaceae (*Psychotria allenii*) que raramente se registrada en Panamá. Ninguna de las especies listadas aparece en los Apéndices de la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies de Fauna y Flora en Peligro (CITES). En el Libro Rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aparecen dos especies consideradas como vulnerables (Vu): *Pachira quinata* y *Cordia anisophylla*. Por otro lado, en la lista de especies protegidas por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) aparecen seis. Dos de estas especies (*Pachira quinata* y *Besleria laxiflora*) son consideradas en peligro (EP), las otras cuatro son consideradas vulnerables (Vu): (*Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora mangle*, *Psychotria allenii* y *Pelliceria rhizophorae*). Ninguna de las especies aparece en los Apéndices de la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies en Peligro (CITES).

CONCLUSIONES

La vegetación de la Isla Viveros es de tipo secundario y aunque existen fragmentos de diferentes edades, las especies encontradas en éstos son similares. Por otro lado, la flora (especies encontradas) es similar a la de tierra firme, especialmente a aquella que se observa en los bosques de crecimiento secundario. La similitud entre la flora de tierra firme y la Isla Viveros puede explicarse en función de los acontecimientos climáticos hace más de 12,000 años. En ese tiempo hubo conexión entre el continente y las islas del Archipiélago de las Perlas debido al desplazamiento de la línea costera. Este desplazamiento de la línea costera se debió a las variaciones del nivel del mar, consecuencia del congelamiento de las aguas durante la última glaciación.

Entre las especies registradas existen pocas de interés, ya sea según su utilidad o por la situación de sus poblaciones. Sin embargo, el cedrón (*Simaba cedron*) es una especie medicinal utilizada por los moradores de zonas rurales para tratar la picada de insectos. Así como el cedrón, existen otras especies útiles, que deben ser consideradas al momento de proponer la transformación de estos bosques para utilizar sus suelos.

REFERENCIAS

Autoridad Nacional del Ambiente. ANAM. 2000. Primer informe de la riqueza y estado de la biodiversidad de Panamá. ANAM, Panamá. 174 P.

Colegio de Biólogos de Panamá (COBIOPA). 1999. Plan de manejo del Parque Nacional Soberanía: Anexos. Panamá.

Correa, M., C. Galdames & M. Stapf. 2004. Catálogo de las Plantas Vasculares de Panamá. Autoridad Nacional del Ambiente – Universidad de Panamá – Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Ed. Quebecor World Bogotá, S.A. Colombia. 601 p.

Croat, T. B. 1978. Flora de Barro Colorado Island. Stanford University Press, Stanford, California, U.S.A.

Holdridge, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica. 216 p.

Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”. 1975. Atlas Nacional. Panamá, Ministerio de Obras Públicas.

Jaén, O. 1981. Hombres y ecología en Panamá. Editorial Universitaria, Panamá. 157 p.

Mayo, E. & M. Correa. 1994 El inventario biológico del Canal de Panamá. III Flora. Scientia (Panamá), número especial: 1 – 454.

The Louis Berger Group, Inc & T. Y. Lin international. 2,000. Mapa de vegetación de Panamá. Escala 1:500,000. Panamá.

www.cites.org. 2005. Apéndices I, II, y III.

- www.ipni.org. 2004. Base de Datos de plantas.
- www.mobot.org. 2005. Base de Datos trópicos.
- www.uicn.org. 2004. IUCN Red List of Threatened species.
- Zapata, A. 1998. Algunos usos tradicionales de las plantas en Panamá. *Ancon* 5 (1): 12 – 15.

Recibido diciembre de 2004, aceptado agosto de 2005.



NIVELES DE VIBRACIONES EN LA CIUDAD DE PANAMÁ

¹ Y. Villarreal, ¹ J. Total, ² M. de los A. Castillo, ¹ A. Muñoz, y ¹ E. Flores

¹ Departamento de Física, FCNET, Universidad de Panamá.

² Planeta Panamá Consultores.

RESUMEN

En este trabajo se estudian los niveles de aceleraciones máximas de las vibraciones ambientales y sus correspondientes frecuencias, en un sector de la Ciudad de Panamá que concentra centros sanitarios, educativos y religiosos, así como edificios residenciales. Las mediciones se realizaron durante un año, en 25 puntos de la ciudad, en tres momentos del día. Se pudo comprobar que estamos expuestos a niveles de vibraciones altas que, aunque en la mayoría de los casos no son perceptibles por las personas, afectan nuestra salud.

PALABRAS CLAVES

Vibración, acelerógrafo, aceleración, frecuencia, Nivel de tolerancia, Ciudad de Panamá.

ABSTRACT

This paper studies the levels of maximum accelerations of the ambient vibrations and their corresponding frequencies in a sector of Panama City, which concentrates health centers educational, religious and residential buildings. The measurements were due during a year in 25 points, three times a day was possible to verify that we are exposed to high levels dose of vibrations that, although in most of the cases are not perceivable, they affect in the long term.

KEYWORDS

Vibration, accelerograph, acceleration, frequency, level of tolerance, Panama City.

INTRODUCCIÓN

Se dice que un cuerpo vibra cuando realiza un movimiento oscilante respecto a una posición de referencia. Así, el movimiento vibracional puede constar de un sólo componente fundamental y de una frecuencia singular, o de varios de ellos simultáneos superpuestos con distintas frecuencias asociadas (modos superiores de vibración).

Los seres humanos son extremadamente sensibles a las vibraciones verticales y horizontales. Movimientos con amplitudes de desplazamientos tan bajas como 800 micrómetros son molestos (Wowk 1991).

El nivel de tolerancia de un ser humano es menor al 1 % de la aceleración que produce el campo gravitatorio terrestre. Entre los efectos adversos y crónicos de las vibraciones en los humanos, podemos señalar: dificultades para hablar, dolor de cabeza e irritabilidad, males estomacales, mareos y vómitos, dolor pectoral, pequeños calambres musculares, problemas en los riñones, respiratorios y cardiovasculares, trastornos del sistema nervioso central y alteración visual (Inman 1994; Pain 1980).

La medida y análisis de las vibraciones mecánicas se puede realizar mediante traductores o sensores tipo acelerómetros, que convierten el movimiento vibratorio ambiental en señal eléctrica, para entonces digitalizarla, filtrarla y amplificarla.

El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de aceleración de las vibraciones en un sector céntrico de la Ciudad de Panamá, para presentar las recomendaciones necesarias en pro de la comunidad local.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Para realizar este estudio, se seleccionó en la Ciudad de Panamá, una zona con alta concentración de centros sanitarios, educativos, religiosos y edificios residenciales. En esta área se seleccionaron y completaron 25 puntos de medición uniformemente distribuidos (Fig. 1)

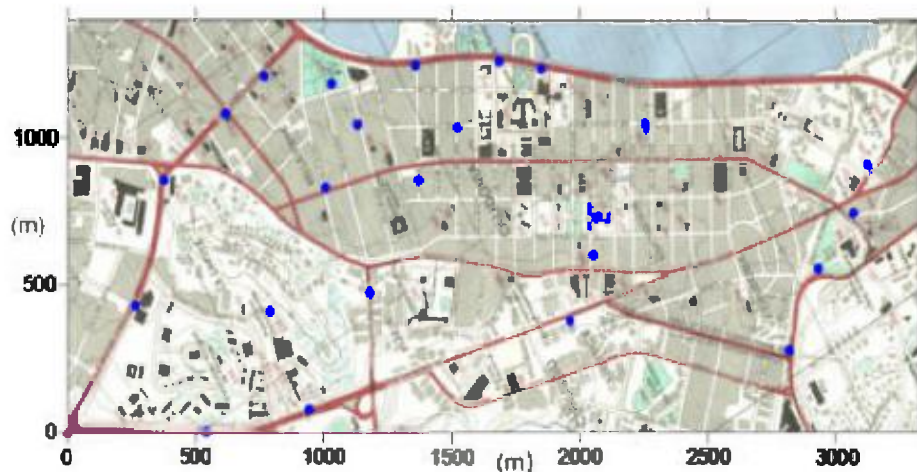


Fig. 1. Área de estudio: los lugares de medición se marcan con puntos azules.

Las aceleraciones de las vibraciones se midieron en el año 2002 durante tres momentos del día: 6:00 a.m. – 7:00 a.m., 12:00 m – 1:00 p.m. y 9:00 p.m. – 10:00 p.m. El tiempo de lectura de cada medida fue de 3,0 minutos, utilizando acelerógrafo digital triaxial con sensor de fuerza balanceada, marca Kinemetrics, serie Altus, modelo K2, conectado a una computadora portátil con el programas especializados, quick talk. De cada medida se obtiene un gráfico de espectros de vibración longitudinal, vertical y transversal de aceleración en función del tiempo, de los cuales se analizaron (1 a 100 Hz) con el programa KMI-SMA, los espectros de vibración vertical.

Las herramientas del programa KMI-SMA permiten correcciones y ajustes instrumentales, así como evaluar y cambiar del eje del tiempo a la frecuencia.

Los datos obtenidos son multiplicados por un factor de ajuste (0,707) o ponderación de aceleración rms, para luego ser graficados, estableciéndose una comparación con el rango de valores máximos permitidos por la norma nacional de vibraciones (Reglamento Técnico DGNTI – Copanit 45-2000 Higiene y Seguridad en Ambientes de Trabajo donde se generen Vibraciones).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observa que los niveles máximos de aceleración rms de las vibraciones mecánicas verticales, ocurren a frecuencias

comprendidas entre 9 a 34 Hz. Cada uno de los sitios de medición se caracteriza por su frecuencia vibracional, mayormente transitoria aunque periódica. La norma industrial panameña (Copanit 45-2000) establece que a cada frecuencia le corresponde un umbral o nivel de aceleración máxima de riesgo.

El valor más alto de aceleración, en el dominio de las frecuencias, se midió durante la mañana en la Avenida de los Mártires, al valor de $8,1 \text{ m/s}^2$ con una frecuencia de 33 Hz. En horas de la tarde y la noche el valor más alto de la aceleración máxima se midió en el cruce de la Avenida Federico Boyd y Calle 50, en la cercanía del edificio Proquimsa, correspondiendo a $3,3 \text{ m/s}^2$ y $8,0 \text{ m/s}^2$ respectivamente y con frecuencias de 17 Hz en la tarde y 9 Hz en horas de la noche. Cabe destacar que, según la norma COPANIT 45-2000 no es recomendable permanecer en lugares con aceleraciones asociadas a las correspondientes frecuencias medidas, de ser estas continuas, un tiempo superior a 15 minutos por día.

Las áreas que presentan aceleraciones de las vibraciones por encima de los niveles admisibles, durante todo el día, corresponden al cruce de la Avenida Federico Boyd y Calle 50 y la Avenida de los Mártires. En horas de la mañana y de la tarde también se destaca, como un lugar crítico, la Vía Simón Bolívar (Transistmica). En horas de la tarde se incrementan los lugares en los cuales las aceleraciones r.m.s. de las vibraciones se encuentran por arriba de los niveles admitidos para la salud.

Las áreas en donde las aceleraciones vibracionales medidas, no sobrepasan a ninguna hora del día los niveles máximos permitidos fueron los barrios de: Bella Vista, La Cresta, Avenida México (4ta Sur), y en las cercanías del Museo del Hombre Panameño "Reina Torres de Araúz" (en Plaza 5 de Mayo).

Tanto en la mañana como en la tarde, el lugar de aceleración máxima más baja fue la Avenida 4ta Sur, cercana al Colegio Nacional de Abogados, correspondiendo al valor de $0,04 \text{ m/s}^2$ con frecuencia de 33 Hz. Durante las noches el lugar de aceleración máxima más baja fue el medido en la Calle 43 Este, en las cercanías de la funeraria La Auxiliadora, con un valor de $0,08 \text{ m/s}^2$ a la frecuencia de 33 Hz.

Cuadro 1. Aceleraciones máximas y sus frecuencias correspondientes en diferentes sitios.

UBICACIÓN	MAÑANA		TARDE		NOCHE	
	a (m/s ²)	f (Hz)	a (m/s ²)	f (Hz)	a (m/s ²)	f (Hz)
Puente Trans-T. Muerto	2,22	16,7	1,16	33,3	0,82	20,0
Entrada U.T.P.	0,64	20,0	0,63	16,7	1,05	14,3
Iglesia del Carmen	0,90	20,0	1,13	14,3	1,19	14,3
Proquimsa	3,90	11,1	3,28	16,7	7,99	9,1
Parque Urracá	0,33	33,3	0,61	33,3	0,27	33,3
Parada U.P.	2,35	14,3	1,16	14,3	1,32	14,3
Urgencia C.S.S.	0,42	33,3	0,58	33,3	0,26	33,3
Clinica Fábrega	0,25	33,3	0,74	25,0	0,28	25,0
Fun. la Auxiliadora	0,77	33,3	0,33	33,3	0,08	33,3
Club de Y. Y Pescas	0,38	25,0	1,30	33,3	0,36	25,0
Parada C.S.S.	1,25	33,3	1,67	25,0	1,00	12,5
Parada Hosanna	0,49	33,3	0,21	33,3	0,32	25,0
Escuela Americana	1,89	16,7	0,81	25,0	0,54	25,0
Col. N. de Abogados	0,04	33,3	0,04	33,3	0,11	33,3
Embajada E.U.A.	1,46	25,0	1,65	20,0	0,78	20,0
Hospital del Niño	1,07	33,3	2,08	25,0	1,91	33,3
C. Caritas Alegres	0,38	10,0	0,79	20,0	1,44	10,0
Credimuebles	1,97	10,0	1,17	12,5	0,77	11,1
Escuela Rep. De Chile	0,80	14,3	0,66	14,3	0,13	33,3
Templo Indú	0,61	25,0	0,10	33,3	0,24	33,3
Restaurante Curundú	1,18	20,0	2,20	25,0	1,75	20,0
Banco D. Agropecuario	8,13	33,3	2,52	25,0	3,54	25,0
Palacio Legislativo	0,72	16,7	0,86	20,0	0,21	12,5
Hotel Internacional	0,47	33,3	0,49	33,3	0,36	25,0
Mercado del Marisco	4,56	33,3	1,49	33,3	0,21	33,3

Por otro lado, el rango de frecuencia en los lugares en donde los niveles de aceleraciones de las vibraciones se encuentran por encima de los niveles límites permitidos, es de 8,0 Hz y 45,0 Hz. En las Figuras 2, 3 y 4 se presentan las aceleraciones de vibración vertical medida, en algunos de los puntos del área de estudio, a distintas frecuencias en tres horarios del día correspondientes a la mañana, tarde y noche. La línea en rojo representa los niveles admisibles por hora para las vibraciones locales en las diferentes bandas de tercias de octava, según la norma COPANT 45-2000.

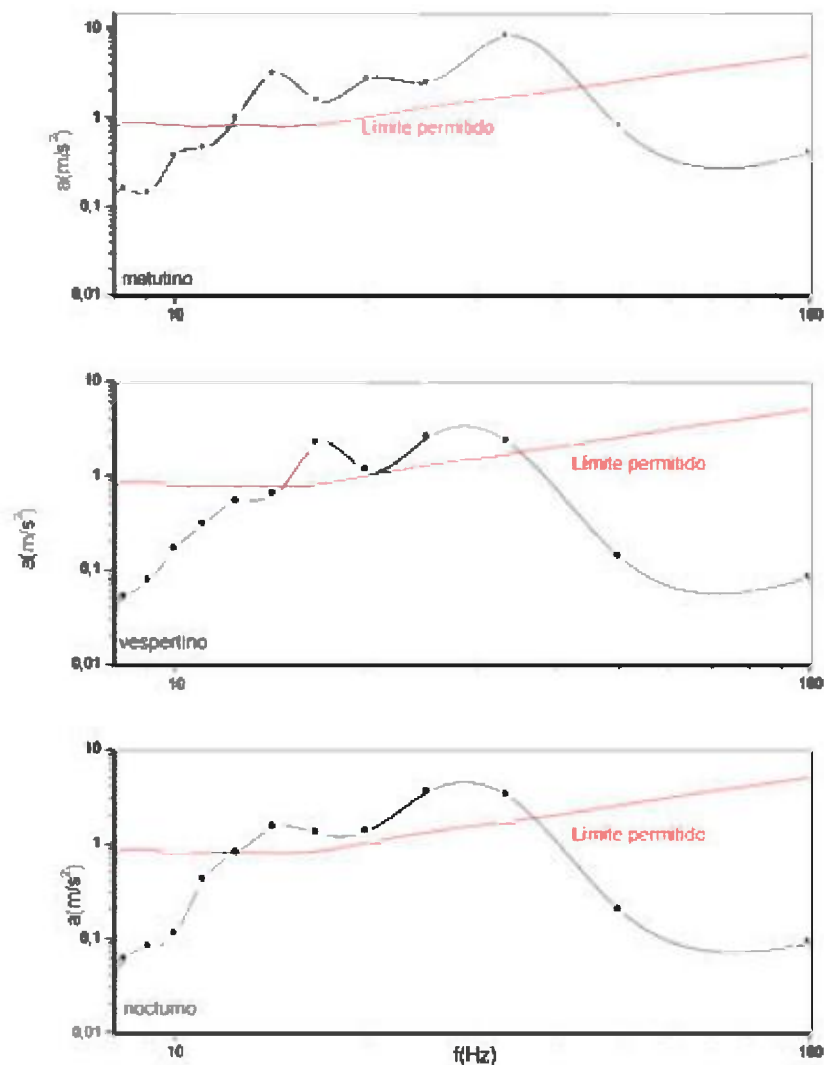


Fig. 2 . Mediciones realizadas en la Avenida de los Mártires.

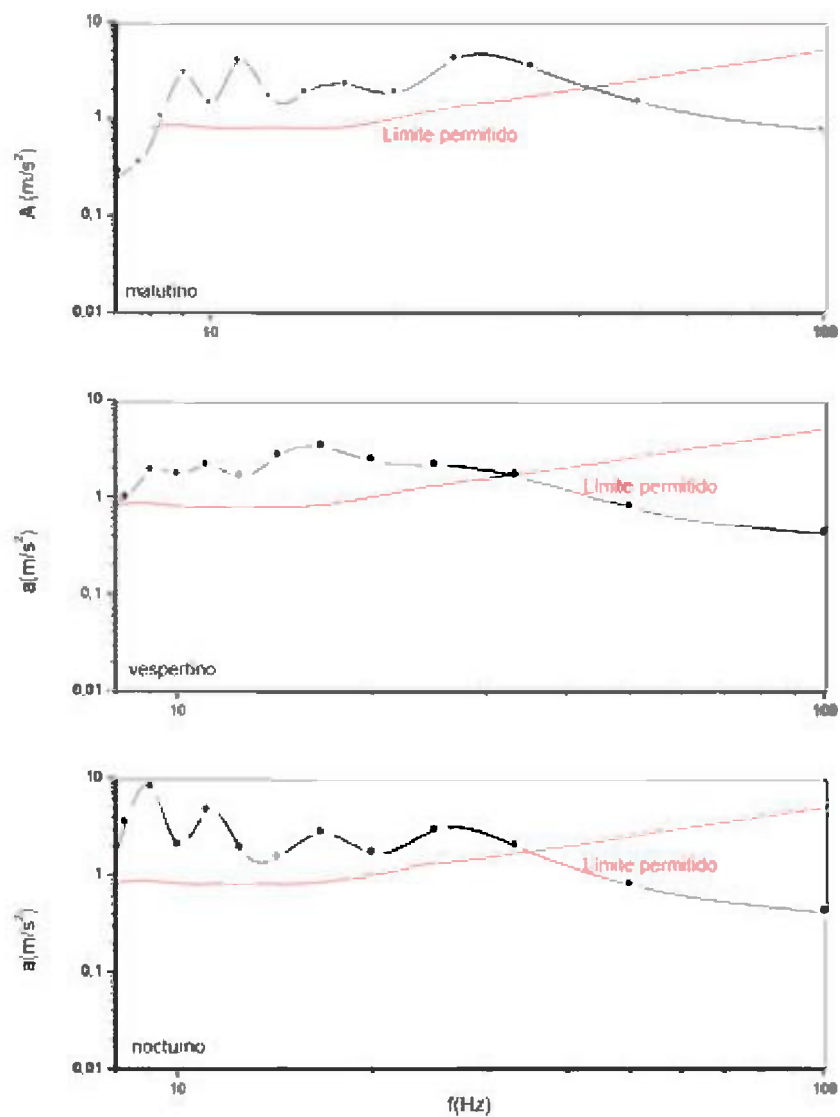


Fig. 3. Mediciones realizadas en el cruce de la Avenida Federico Boyd y Calle 50.

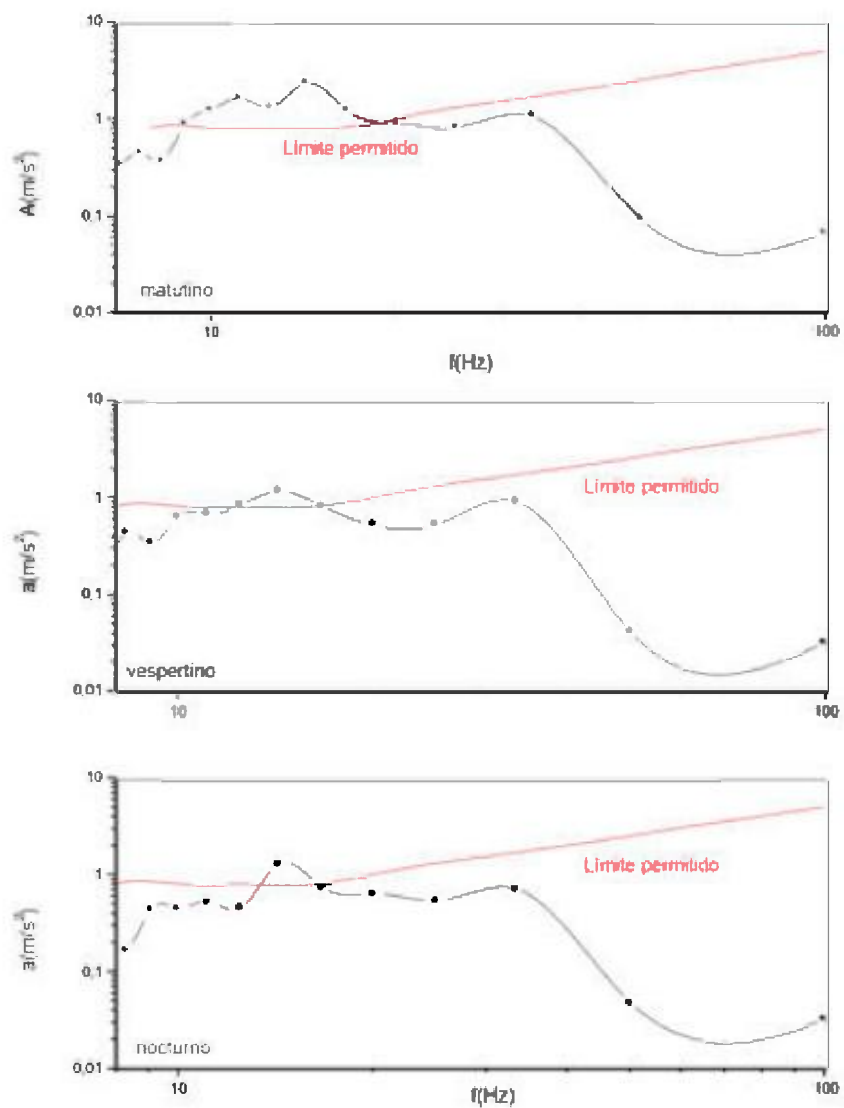
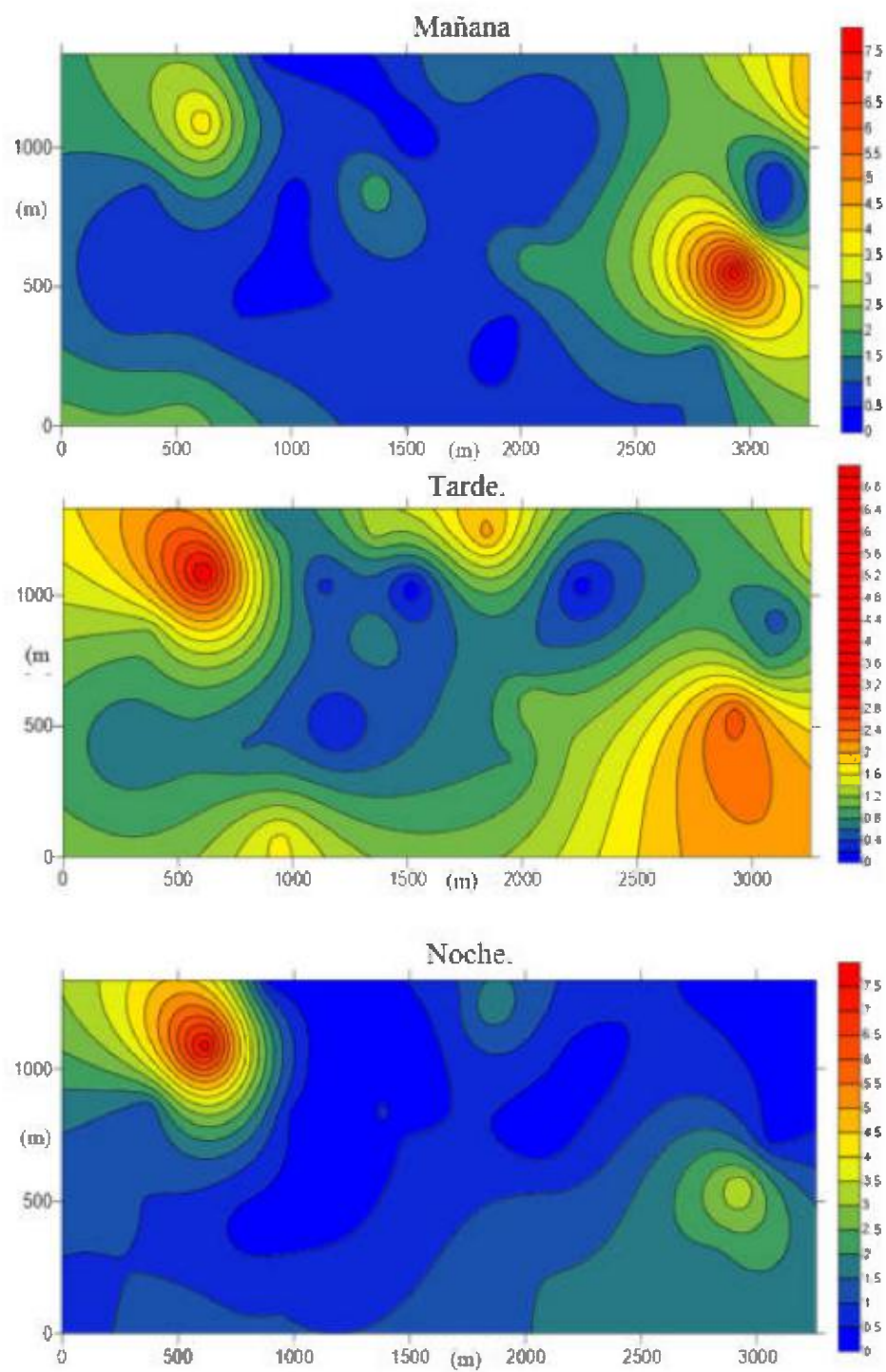


Fig. 4. Mediciones realizadas en la Vía Simón Bolívar (Transistmica).

En la Figuras 5, 6, y 7 se presentan los mapas de isolíneas para las aceleraciones máximas de las vibraciones medidas en la zona de estudio en la mañana, tarde y noche. En ellos se observa claramente que en horas de la mañana el nivel de aceleración rms de las vibraciones alcanzan valores intermedios; mientras sus máximos valores se alcanzan en horas de la tarde, y llegando a sus valores mínimos en horas de la noche.

No está demás señalar que si se comparan los lugares de máximas y mínimas vibraciones con estudios previos, en estos mismos lugares, sobre contaminación acústica (Villarreal 2003), se observa una buena correlación entre los lugares máximos y mínimos contaminación de estas dos magnitudes físicas.

Gran parte, de las medidas de aceleración de la vibración captadas son de carácter intermitente, es decir que no son continuas, sino que, su valor depende del tipo, intensidad y distancia a la fuente que la produce en el instante dado. Esto suele transmitirse, absorberse y afectar a las personas que frecuentan el sector o a transeúntes a cuerpo entero, mientras se encuentren en contacto con el pavimento, de pie o sentados, en el lugar donde arriba y se percibe la vibración. Es decir, como un todo corporal junto con sus órganos internos, cada uno con su respectiva frecuencia natural.



Figuras 5, 6 y 7. Mapa de isolineas de aceleraciones rms de las vibraciones en m/s^2 .

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las áreas estudiadas de la Ciudad de Panamá, se ha determinado que existen valores que superan los límites permisibles de la norma nacional de aceleración ambiental por vibración mecánica (Copanit 45-2000), alcanzando valores espectrales hasta de $8,1 \text{ m/s}^2$. En la mayoría de los casos aunque las vibraciones no son perceptibles por las personas (con máxima sensibilidad a 6-8 Hz), estas afectan la salud y a elementos corpóreos específicos (columna vertebral, riñones, estómago, etc.).

Las zonas en las cuales se obtuvieron los valores máximos de aceleración de la vibración muestran correlación con las de niveles máximos de las intensidades sonoras medidas en otros estudios (Villarreal 2003); estos lugares son: el cruce de la Federico Boyd y Calle 50, la Avenida de los Mártires, y la Vía Simón Bolívar. Las zonas en las cuales se obtuvieron los valores mínimos de aceleración de la vibración, también concuerdan con los niveles mínimos de intensidad sonoros reportados en trabajos previos; estos son: La Cresta, la Avenida 4ta Sur, y en la Calle 43 Este.

En función del comportamiento de los niveles sonoros y los valores de aceleraciones de vibraciones detectados, se concluye que el tráfico rodante o de equipo pesado es una de las principales fuentes de vibraciones en el área de estudio. Por esta razón se recomienda que se tomen medidas a largo plazo para disminuir el flujo de vehículos pesados que circulan en las áreas críticas de la Ciudad de Panamá. Esto puede ir acompañado regulando la velocidad de tránsito en áreas críticas, de la revisión de amortiguadores en los motorizados, reparar hoyos en las carreteras, al igual como sería designar nuevas rutas, la construcción de vías alternativas y de un tren subterráneo (metro).

Se hace necesario evaluar el interior de los centros educativos, hospitalarios, de trabajo y residenciales con el fin de controlar o mantenerlos, en la medida de lo posible, dentro de los márgenes permitidos de confort para aceleraciones de vibraciones ambientales sin riesgo a la salud.

REFERENCIAS

Wowk, V. 1991. Machinery vibration: measurement and analysis. New York, McGraw Hill.

Inman, D. 1994. Engineering vibration. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.

Pain, H.J. 1980. The Physics of Vibration and Waves, John Wiley & Sons.

Reglamento Técnico DGNTI – Copanit 45-2000 Higiene y Seguridad en Ambientes de Trabajo donde se generen Vibraciones.

Villarreal, Y., M. de los A. Castillo, A. Muñoz, J. Toral & E. Flores. 2003. Nivel de Ruido en la Ciudad de Panamá. Tecnociencia 5 (2): 97-108.

Comités Internacionales de la AISS. 1994. Vibraciones en el lugar de trabajo. España.

López, M. R. 1999. Ingeniería Acústica. Editorial Paraninfo.

Recibido mayo de 2005, aceptado noviembre de 2005.



CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DE ACEROS AL CARBONO EN EL CLIMA TROPICAL MARINO DE SHERMAN (PROVINCIA DE COLÓN, PANAMÁ)

Juan A. Jaén¹ y Lilibeth de Araque²

¹ Depto. de Química Física, CITEN, Lab. Nº 105, Edificio de Laboratorios Científicos-VIP, Universidad de Panamá, jjjaen@ancon.up.ac.pa

² Laboratorio de Química y Física Aplicada, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

RESUMEN

Se estudian los productos de corrosión de un acero al carbono expuesto a la intemperie en el ambiente tropical marino de Fuerte Sherman, en la costa Caribe de Panamá, y se comparan con aquellos obtenidos en un sitio urbano en ciudad de Panamá. La espectroscopia de infrarrojo de transformada de Fourier, la difracción de rayos-X y la espectroscopia Mössbauer de transmisión mostraron que la herrumbre obtenida en Sherman consistía de akaganeita (β -FeOOH), goethita (α -FeOOH), lepidocrocita (γ -FeOOH), magnetita no estequiométrica ($\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$) y maghemita (γ -Fe₂O₃). Todas estas fases, excepto akaganeita, también se detectan en Panamá. Las cantidades importantes de magnetita/maghemita y akaganeita en Sherman se deben a la alta contaminación de cloruros, y se pueden relacionar a altas tasas de corrosión. Hay importantes diferencias entre las dos caras de paneles de acero expuestos en Sherman. La cara que mira al cielo tiene partículas de mayor tamaño, en la que la goethita magnética es una fase predominante, hay una importante contribución de maghemita. También se observa la presencia de lepidocrocita, goethita en nanopartículas y la akaganeita. La cara que mira al suelo tiene menor tamaño de partículas, y contiene magnetita, lepidocrocita y akaganeita. El producto oscuro en las capas internas (partes centrales de los paneles) consistió, principalmente, de magnetita no estequiométrica, akaganeita y goethita en una amplia distribución de tamaños de partículas.

PALABRAS CLAVES

Corrosión atmosférica, ambiente tropical marino, acero al carbono, productos de corrosión, akaganeita, magnetita, maghemita.

ABSTRACT

The corrosion products formed on carbon steel exposed to the open atmosphere in the tropical marine environment of Fort Sherman, Caribbean coast of Panama, were studied and compared to those obtained in an urban test site in Panama City. X-ray powder diffraction, Fourier Transform Infrared spectroscopy and transmission Mössbauer spectroscopy showed that Sherman rust was akaganeite (β -FeOOH), goethite (α -FeOOH), lepidocrocite (γ -FeOOH), non-stoichiometric magnetite ($\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$) and maghemite (γ - Fe_2O_3). All of them, but akaganeite were detected in Panama. The important amounts of magnetite/maghemite and akaganeite in Sherman are due to the high chloride contamination and could be related to high corrosion rates. There are important differences between both sides of Sherman corroded steel panels. The skyward face has larger particle sizes, with magnetic goethite as a predominant phase, with an important contribution from maghemite. Lepidocrocite, nanoparticles of goethite and akaganeite were also present. The particle size was smaller for the earthward face, which also contained magnetite, lepidocrocite and akaganeite. The dark corrosion product in the inner layer (central parts of the panels) consisted, mainly, of non-stoichiometric magnetite, akaganeite and goethite in large particle size distribution.

KEYWORDS

Atmospheric corrosion, tropical marine environment, carbon steel, corrosion products, akaganeite, magnetite, maghemite.

INTRODUCCIÓN

El estudio sistemático de los productos de corrosión es de enorme interés toda vez que nos permite detectar los mecanismos de transformación y evaluar su efectividad protectora. Es ampliamente conocido que en el caso de la corrosión atmosférica de los aceros se forma una de las fases polimórficas de los oxihidróxidos férricos, α -, β -, γ -, δ -FeOOH, óxidos como Fe_3O_4 y γ - Fe_2O_3 , así como también herrumbres amorfas. Todas estas fases, con excepción del compuesto β -FeOOH (akaganeita), han sido observadas en la herrumbre de aceros al carbono expuestos a la intemperie en distintos lugares de Panamá (Morcillo et al., 1999; Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén, 2000; Jaén & Fernández, 1989; Jaén et al., 1997; Jaén et al. 2001; González et al., 1993; Jaén & Garibaldi 2004).

La akaganeita es típica de áreas costeras (Singh et al., 1985; Rincón et al., 1997; Santana Rodríguez et al., 2002; Cook et al., 1998) que tienen altas concentraciones de cloruros por influencia de los aerosoles

marinos. Se conoce que la formación de β -FeOOH requiere la presencia de iones cloruros, que pueden incorporarse a la estructura en solución sólida en cantidades importantes. Se presume que la akaganeita se forma en lugar de la goethita α -FeOOH y su presencia se puede conectar con la formación de Fe_3O_4 en la herrumbre (Ishikawa et al., 1998), resultando en altas velocidades de corrosión.

En este estudio se utilizó espectroscopia de infrarrojo de transformada de Fourier (FT-IR), la difracción de rayos-X (DRX) en conjunto con la espectroscopia Mössbauer de transmisión (EM) para caracterizar los productos de corrosión formados sobre acero al carbono luego de una exposición de un año a la atmósfera en una estación localizada en Sherman (Fuerte Sherman) en la provincia de Colón, República de Panamá. El interés en estudiar la corrosión del acero en esta localidad en particular se debe a que en esta estación se registran los niveles más altos de cloruros en todo el país. De esta manera, al comparar los resultados con los obtenidos en una estación urbana localizada en la ciudad de Panamá, se puede concluir sobre la influencia de los cloruros y otros factores críticos que afectan el desempeño de los aceros en los ambientes marinos del trópico panameño.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la realización de este trabajo se usó un sitio de exposición localizado en la base del rompeolas que separa la Bahía de Limón del Mar Caribe en Punta Toro en el Fuerte Sherman, que se conoce como Estación Rompeolas en el Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá. Las coordenadas geográficas son $9^\circ 22' 21''$ de latitud norte y $79^\circ 56' 48''$ de longitud oeste. En el lugar hay vientos que mantienen las olas chocando continuamente contra las piedras que sirven de rompeolas, lo que produce abundante sal en forma de rocío y una atmósfera altamente salina. La velocidad de deposición natural de cloruros, durante el periodo de exposición (año 2002), varía entre $197 \text{ mg/m}^2\text{día}$ a $8350 \text{ mg/m}^2\text{día}$; siendo los periodos más lluviosos los de menor deposición de cloruros. La deposición de dióxido de azufre también era muy variable a lo largo del año, con valores extremos que variaban entre $11 \text{ mg/m}^2\text{día}$ y $132 \text{ mg/m}^2\text{día}$. Según los promedios anuales, la contaminación en esta estación se puede clasificar como P_1S_3 (ISO 9223, 2001), aunque en la época de seca se supera con creces el valor límite de $1500 \text{ mg/m}^2\text{día}$ dado por la norma.

Para efectos de comparación, se expusieron al ambiente probetas de ensayo en una estación de menor contaminación salina, situada en el campus central de la Universidad de Panamá. Se encuentra a 29 metros sobre el nivel del mar, latitud 8° 58' 57" norte y longitud 79° 31' 52" oeste. Esta estación tiene reportados unos niveles contaminación P_1S_1 (Morcillo et al., 1999; Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén 2000), aunque durante el periodo de exposición la contaminación bajó a niveles P_0S_0 (Jaén & Garibaldi 2004).

Se usó probetas de acero negro, ASTM A-36, de bajo contenido de carbono (0.17 % de C). Las muestras metálicas, de dimensiones 4" x 12" x 1/16" se prepararon según la norma ASTM G1-90 y se colocaron a un ángulo de exposición de 30° en la Estación Rompeolas y 45° en la Estación de Panamá, atendiendo las normas ISO/DIS 8565 y ISO 2810. Los productos de corrosión se separaron mecánicamente al cabo de un año de exposición. La herrumbre no adherente se obtuvo mediante golpes a las probetas, en tanto que la herrumbre adherente se separó con una espátula de acero inoxidable. Los óxidos se trituraron en un mortero de ágata y se mezclaron hasta homogenizar. Se caracterizaron mediante difracción de rayos-X para muestras en polvo, análisis infrarrojo de transformada de Fourier y espectroscopia Mössbauer. Los ensayos de difracción de rayos-X se realizaron en un difractómetro Rigaku, modelo RTP 300 RC, en la Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias. Se usó un ánodo de Cu, 40 kV, 80 mA y velocidad de barrido de 2 °/min. Algunas muestras se mezclaron con vidrio por la poca cantidad de espécimen proporcionado. El análisis de fases se realizó usando las tarjetas del Joint Committee on Powder Pattern Standards (JCPDS). Los espectros IR se obtuvieron de pastillas en KBr usando un espectrómetro de transformada de Fourier Perkin Elmer modelo RXI. Se usó el programa proporcionado por los fabricantes y el programa KnowIt All (<http://www.bio-rad.com>) para procesar los espectros. Los espectros Mössbauer se obtuvieron con un espectrómetro convencional de aceleración constante, con una fuente de $^{57}\text{Co(Rh)}$ de 20 mCi. Los desplazamientos isoméricos se reportan respecto al centroide del $\alpha\text{-Fe}$. Las evaluaciones se realizaron con el programa Recoil de Lagarec y Rancourt (<http://www.physics.uottawa.ca/~recoil/>), utilizando líneas de Voigt para las distribuciones de parámetros hiperfinos (Rancourt & Ping 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al cabo de un año, las muestras expuestas en Sherman tenían gruesas capas de productos de corrosión de color chocolate oscuro que cubrían completamente el sustrato de acero; de hecho, el acero se había corroido totalmente y la probeta se partía con relativa facilidad. La cara que miraba al cielo tenía numerosas ampollas y secciones se desprendían fácilmente, dejando expuesta una herrumbre muy oscura y adherente en la parte central de la probeta. Los productos de corrosión en la cara que miraba al piso eran de aspecto más uniforme y muy adherentes. Por su parte, la corrosión en las probetas de Panamá fue uniforme, obteniéndose herrumbres bastante adherentes de color chocolate naranja.

Los análisis de fases por difracción de rayos-X indican que los compuestos cristalinos mayoritarios en las herrumbres provenientes de los aceros expuestos en la estación de Panamá son la goethita y la lepidocrocita. Aparecen además reflexiones de menor intensidad atribuibles a la magnetita o a la maghemita. Todos estos productos se han obtenido en estudios previos en paneles de acero SAE 1010 y 1020 (Jaén et al., 1997) y en aceros A-36 (Jaén et al., 2001); pero en este caso, se observan diferencias en la composición de la herrumbre no adherente y la adherente, tal como se aprecia en la Figura 1. Se verifica que las cantidades de lepidocrocita son mayores en la herrumbre no adherente, con picos más afilados. La goethita, por su parte, tiene reflexiones más afiladas y de mayor intensidad relativa en la herrumbre no adherente. Podemos inferir que en efecto las primeras herrumbres son más ricas en lepidocrocita, que mediante conocidos mecanismos de disolución-precipitación se transforma en goethita (Haces et al., 1981). Se estima, por la anchura de los picos, que ambas fases tienen menor tamaño de grano en la herrumbre adherente. También se observan reflexiones de menor intensidad atribuibles a la magnetita (y/o maghemita), en mayor proporción en la herrumbre adherente. No se observan las reflexiones de la akaganeita.

En los difractogramas de muestras expuestas en atmósfera marina de Sherman, que se muestran en la Figura 2, claramente se detectan las reflexiones de la akaganeita en la herrumbre obtenida de la cara que mira al cielo y en las capas internas (parte central de la probeta).

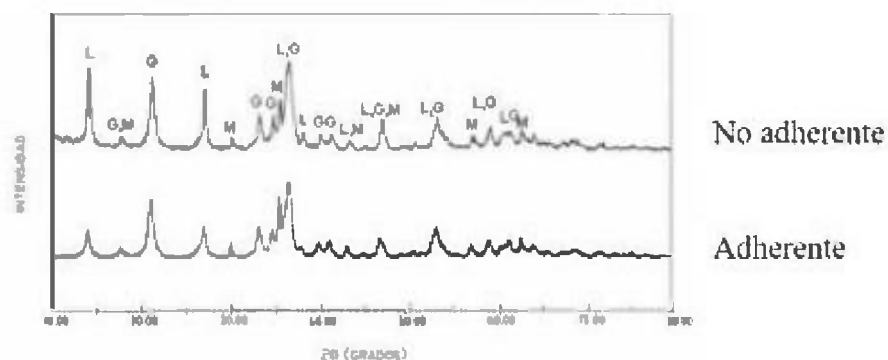


Fig. 1. Difractogramas de rayos-X obtenidos de las herrumbres de las probetas de acero expuestas en Panamá. (A=akaganeita, G=goethita, L=lepidocrocita, M=magnetita/maghemita).

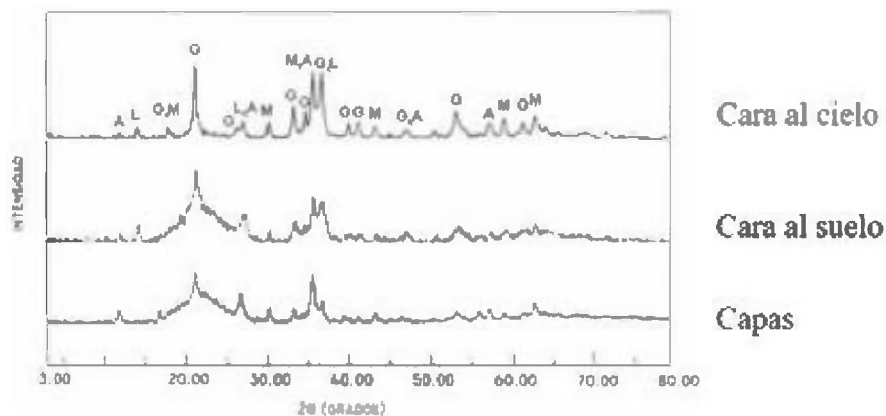


Fig. 2. Difractogramas de rayos-X obtenidos de las herrumbres de las probetas de acero expuestas en Sherman. (A=akaganeita, G=goethita, L=lepidocrocita, M=magnetita/maghemita).

Este resultado no sorprende toda vez que en esta estación se superan los niveles críticos de 14 -16 mg/cm² de concentración de cloruro para la formación de akaganeita (Cook et al., 1998, 2000; Santana Rodríguez et al., 2002). Llama la atención la ocurrencia de cantidades importantes de magnetita/maghemita en estas muestras, siendo una fase predominante en herrumbre de las partes centrales de las probetas, donde la difusión de oxígeno estaba limitada y eran más favorables las condiciones reductoras. En muestras de herrumbre provenientes del ambiente marino de Sherman se logra identificar goethita y pocas cantidades de lepidocrocita. Estas herrumbres contienen más magnetita que aquellas de Panamá, presumiblemente favorecida por la akaganeita formada en presencia de Cl⁻ y por la transformación de lepidocrocita y otras especies férricas de FeOOH (Ishikawa 1998). Estas fases de magnetita en herrumbres son más reactivas que la magnetita ordinaria (Singh et al., 1985) y son más abundantes en herrumbre de capas gruesas. Se describen mejor como magnetita no estequiométrica, Fe_{3-x}O₄.

Los resultados de las mediciones FT-IR se resumen en las Figuras 3 y 4. En los espectros de FT-IR de la herrumbre obtenida en la estación de Panamá se encontraron las bandas características de la goethita a 884 y 796 cm⁻¹, y de la lepidocrocita a 1020 y 744 cm⁻¹. Se encuentra la misma tendencia observada en los difractogramas de Difracción de Rayos-X, por ejemplo, la banda de flexión fuera de plano del OH es de mayor intensidad en la herrumbre menos adherente.

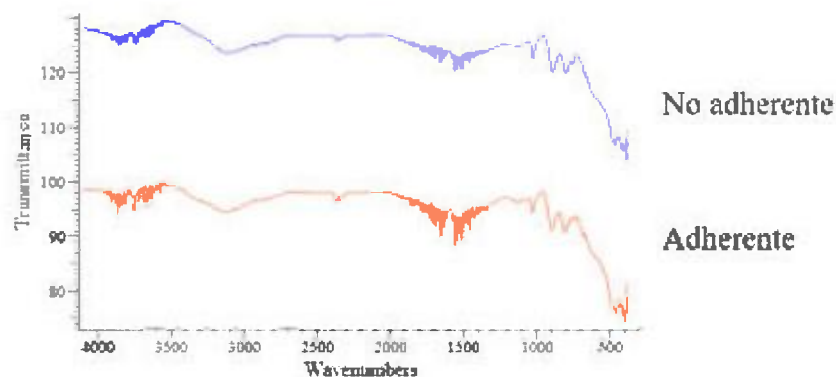


Fig. 3. Espectros Infrarrojo de las herrumbres de las probetas de acero expuestas en Panamá.

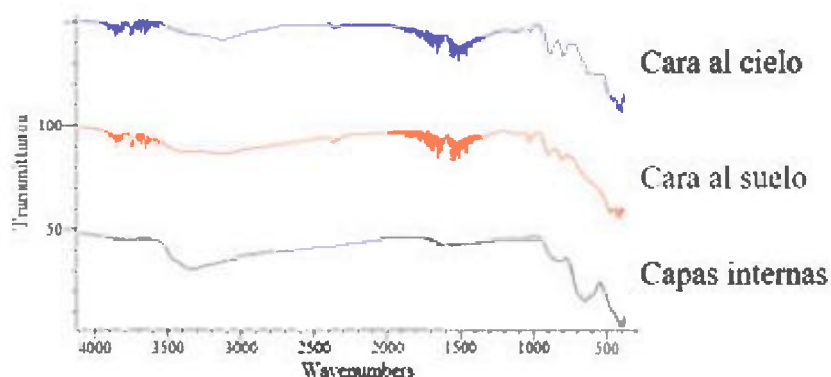


Fig. 4. Espectros Infrarrojo de las herrumbres de las probetas de acero expuestas en Sherman.

La presencia de magnetita, encontrada por Difracción de Rayos-X, no puede ser distinguida con facilidad por espectroscopia IR debido a la superposición de sus bandas con los de la lepidocrocita en la zona entre 350 cm^{-1} y 650 cm^{-1} . La Figura 4 muestra los espectros FT-IR de herrumbres obtenidas en la estación marina de Sherman. En las herrumbres de las caras que miran al cielo y al suelo se observan las bandas de deformación de la goethita a 890 cm^{-1} y a 798 cm^{-1} , sugiriendo una mejor cristalinidad de esta fase en las muestras marinas (Schwertman & Cornell 1996). También es visible una banda débil a 1022 cm^{-1} que corresponde a lepidocrocita. El hombro que se observa cerca de 600 cm^{-1} , en particular en la muestra que mira al cielo, se atribuye a magnetita. El espectro de muestras de la parte central de las probetas corroídas poseen bandas de absorción muy anchas a 824 , 680 y 636 cm^{-1} , que se asignan a akaganeita de aparente baja cristalinidad. La absorción centrada en 3340 cm^{-1} se puede relacionar con las vibraciones de alargamiento de OH de la akaganeita. En esta muestra es bastante clara la contribución de la magnetita, como lo indican las fuertes bandas de absorción a 580 y 408 cm^{-1} .

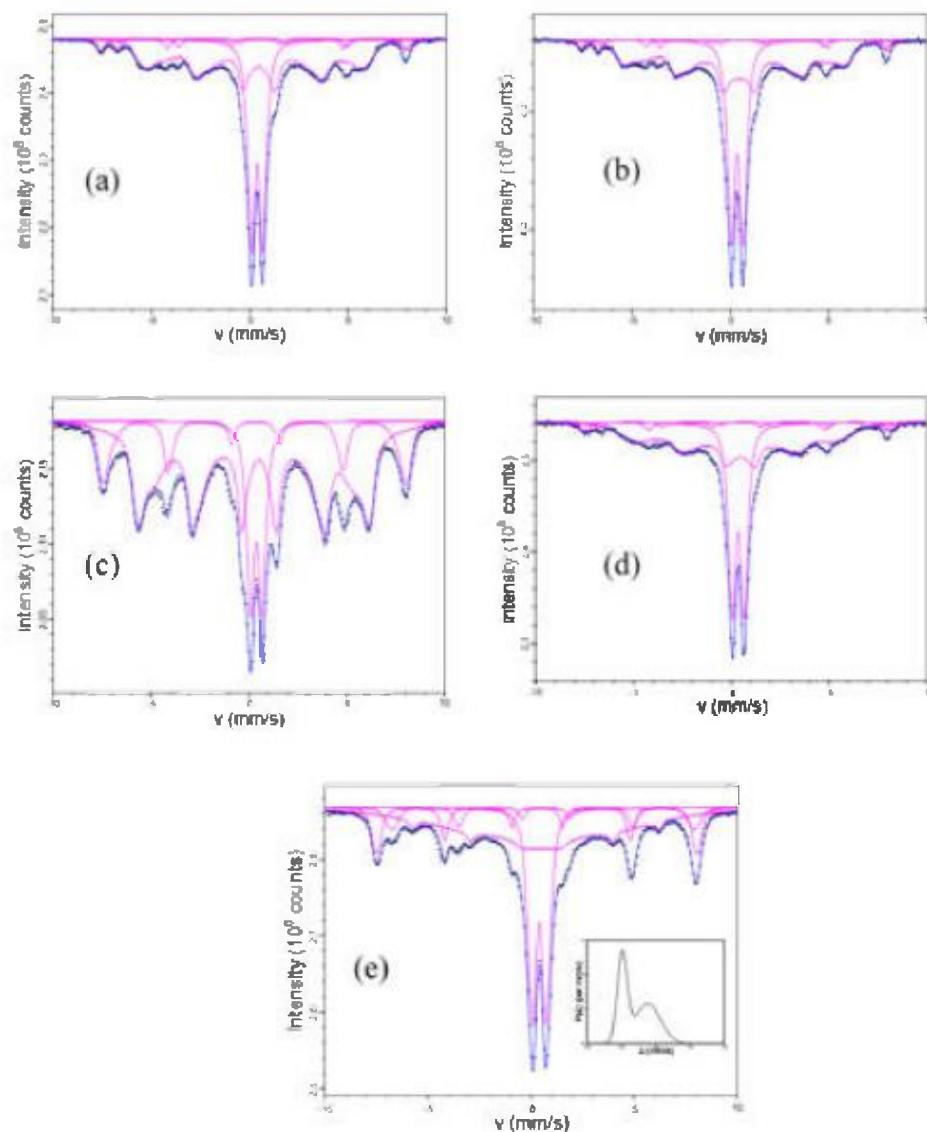


Fig. 5. Espectros Mössbauer a temperatura ambiente de muestras de Panamá (a) herrumbre no adherente, (b) herrumbre adherente, y de Sherman (c) cara al cielo, (d) cara al suelo y (e) capas internas de la probeta (el inserto corresponde a la distribución de cuadrupolos del doblete central en esta muestra).

Cuadro 1. Resultados Mössbauer a temperatura ambiente de las herrumbres estudiadas.

Muestra	Sitio	<CS> mm/s	< H > T	σ_{H} T	<ε> mm/s	< Δ > mm/s	$\sigma_{\text{Δ}}$ mm/s	A %	χ^2_{red}
Panamá no adherente	QSD1	0.372	-	-	-	0.600	0.201	36.0	1.56
	HFD1	0.647	45.8	0.7	-0.039	-	-	3.9	
	HFD2	0.231	48.1	0.8	-0.065	-	-	4.7	
	HFD3	0.346	25.6	10.3	-0.121	-	-	55.4	
Panamá adherente	QSD1	0.359	-	-	-	0.634	0.225	35.9	1.14
	HFD1	0.647	45.5	0.5	-0.042	-	-	4.0	
	HFD2	0.221	48.3	0.6	-0.028	-	-	3.4	
	HFD3	0.345	24.2	11.2	-0.123	-	-	56.7	
Sherman cara al cielo	QSD1	0.390	-	-	-	0.624	0.191	17.0	2.43
	HFD2	0.325	47.5	1.8	-0.016	-	-	16.6	
	HFD3	0.379	31.6	10.2	-0.136	-	-	66.4	
Sherman cara al suelo	QSD1	0.367	-	-	-	0.641	0.221	38.6	0.97
	HFD1	0.666	45.7	0.5	-0.059	-	-	2.3	
	HFD2	0.295	48.2	1.3	-0.005	-	-	4.8	
	HFD3	0.355	23.2	11.4	-0.120	-	-	54.3	
Sherman parte central	QSD1	0.397	-	-	-	0.711	0.235	30.3	2.60
	HFD1	0.651	45.4	1.5	-0.073	-	-	9.0	
	HFD2	0.295	48.1	0.9	-0.017	-	-	14.3	
	HFD3	0.363	29.6	18.7	-0.140	-	-	46.4	

<CS> : corrimiento isomérico con respecto al α -Fe.

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

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

<|Δ|> : valor promedio del desdoblamiento cuadrupolar del sitio cuadrupolar.

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

A : Contribución del sitio al área del espectro.

Las herrumbres también fueron caracterizadas usando espectroscopia Mössbauer. Discutiremos los resultados específicos de temperatura ambiente (Fig. 5 y Cuadro 1). Se hicieron mediciones a temperatura del nitrógeno líquido, que fueron bastante consistentes con nuestras interpretaciones, no obstante por su baja calidad estadística no se incluyen en esta discusión. Los espectros de las herrumbres separadas de aceros expuestos en Panamá estaban compuestos por un doblete cuadrupolar de lepidocrocita y goethita en nanopartículas, una distribución de campos hiperfinos correspondiente a goethita (H_m cerca de 35.0 T) y una contribución menor de dos sextetos magnéticos que atribuimos a magnetita no estequiométrica, $Fe_{3-x}O_4$. El hecho de que los espectros Mössbauer de la herrumbre adherente y no adherente sean, dentro del error experimental, prácticamente iguales, nos sugiere una importante cantidad de componentes amorfos en la muestra adherente que contribuye al doblete cuadrupolar, pero no a los difractogramas de Rayos-X.

Las herrumbres obtenidas en Sherman exhiben espectros Mössbauer muy diferentes a los de Panamá, aunque se caracterizan también con un solo doblete y componentes magnéticos. Nuevamente, el doblete cuadrupolar fue ajustado como una distribución con dos componentes de igual desplazamiento isomérico. En las herrumbres de Sherman el doblete cuadrupolar se puede asociar con lepidocrocita, goethita en nanopartículas y akaganeita. El perfil de la distribución de cuadrupolos en herrumbres removidas de la parte central de estas probetas de Sherman tiene un desdoblamiento cuadrupolar promedio de $\langle\Delta\rangle = \langle 2\varepsilon \rangle = 0.71$ mm/s, resultado de la contribución de dos componentes gaussianas con $\Delta_1 = 0.51$ mm/s y $\Delta_2 = 0.88$ mm/s, y desviaciones estándares de $\sigma_{\Delta_1} = 0.07$ mm/s y $\sigma_{\Delta_2} = 0.186$ mm/s, respectivamente. El hecho de que el primer componente sea tan estrecho y que se observan cantidades altas del segundo (área relativa de 54%), nos sugiere que en esta muestra la fase que contribuye predominantemente al doblete cuadrupolar es la akaganeita. Este resultado, que confirma las observaciones con DRX y FT-IR, son de particular importancia toda vez que la akaganeita es electroquímicamente activa y se puede reducir fácilmente promoviendo la corrosión en ambientes con cloruros (Asami & Kikuchi 2003). La akaganeita puede actuar como un reservorio de iones cloruro, que se pueden disolver haciendo la capa de herrumbre porosa, lo que permite la introducción de más cloruros del ambiente.

Es interesante destacar que la goethita de la herrumbre separada de la cara que mira al cielo es muy abundante y bastante cristalina (máximo en el componente gaussiano de la distribución de campos magnéticos $H_m = 36.7$ T), de tamaño de partícula entre 100 nm y 20 nm (Barreiro et al., 1995). Oh et al. (1999) observaron que la goethita y la maghemita magnética se obtenían como partículas grandes como resultado del aumento de la tasa de corrosión en aceros al carbono expuestos en sitios marinos. Asami & Kikudi (2003) reportan que la influencia de aerosoles salinos sobre la estructura de la herrumbre resulta en un incremento en el contenido de akaganeita y el incremento del tamaño de partículas.

Todas las muestras de Sherman contenían magnetita no estequiométrica, en cantidades más importantes en la cara al cielo y en la parte central de las probetas. La magnetita en la cara al cielo está totalmente oxidada a maghemita, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, indicativo de un gran número de ciclos húmedo-seco y de altas tasas de corrosión. Estas muestras, de alguna manera, guardan parecido con las "herrumbres viejas" formadas en la corrosión del hierro en ambientes naturales y costeros. (Leidheiser Jr., 1982; Asami & Kikuchi 2003).

CONCLUSIONES

En este estudio se confirma que la composición de fases de las herrumbres obtenidas de aceros al carbono expuestos a ambientes tropicales en Panamá depende de los niveles de contaminación registrados en el sitio de exposición. Los compuestos observados en las herrumbres provenientes de los aceros expuestos en la estación de Panamá son la goethita, lepidocrocita y en menor proporción la magnetita no estequiométrica. En la estación marina de Sherman se obtienen akaganeita, goethita, lepidocrocita, magnetita no estequiométrica y maghemita. Las cantidades relativas de magnetita/maghemita y goethita son importantes en Sherman, se vinculan con los niveles de cloruros en esta estación y con las altas tasas de corrosión. En estas condiciones se obtienen partículas más grandes de goethita y de otros óxidos.

REFERENCIAS

Asami, K., & M. Kikuchi. 2003. In-depth distribution of rusts on a plain carbon steel and weathering steels exposed to coastal-industrial atmosphere for 17 years, *Corr. Sci.* 45: 2671-2688.

ASTM G1-90. 2000. "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", American Society for Testing and Materials, PA .

Barrero, C., R. Vanderberghe, E. De Grave & G. Pérez. 1995. Un estudio Mössbauer sobre Goethitas Sintéticas. Primeros resultados, *Rev. Col. de Física*, 27(2): 387-390.

Cook, D. C., A. C. Van Orden, J. Reyes, S. J. Oh, R. Balasubramanian, J. J. Carpio, & H. E. Townsend. 2000. "Atmospheric corrosion in marine environments along the Gulf of México", *Marine corrosion in tropical environments*, ASTM STP 1399, S. W. Dean, G. Hernandez-Duque Delgadillo, & J. B. Bushman, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

Cook, D.C., A.C. Van Orden, J.J. Carpio & S.J. Oh. 1998. Atmospheric corrosion in the Gulf of México, *Hyperfine Int.* 113: 319-329.

González, A.E., R. Lloyd, L. de Araque, C. Hernández, N. Acosta & J. A. Jaén. 1993. Los productos de corrosión atmosférica del acero A-36 formados en el clima de Panamá, *Revista COPAQUI* 13: 51-55.

Haces, C., F. Corvo & A. Pérez Reyes. 1981. Estudio de los productos de corrosión formados sobre aceros al carbono, en clima tropical húmedo (Parte I), *Revista Ciencias Químicas (Cuba)*, 12: 55-65.

Ishikawa T., Y. Kondo, A. Yasukawa & K. Kandori. 1998. Formation of magnetite in the presence of ferric oxyhydroxides, *Corr. Sci.* 40(7): 1239-1251.

International Standars Organizations, Geneve. 1991. ISO 2810. Paints and varnishes-Notes for guidance on the conduct of natural weathering test.

International Standards Organizations, Geneve. 1991. ISO 9223, Corrosion of metals and Alloys. Classification of corrosivity of atmospheres.

International Standards Organization, Ginebra. 1990. ISO/DIS 8565, Metals and Alloys – Atmospheric corrosion testing – general requirements for field tests.

Jaén J. A., M. Sánchez de Villalaz, L. de Araque, C., Hernández & A. de Bósquez. 2001. Study of the corrosion products formed on carbon steels in the tropical atmosphere of Panama, *Scientia* 16: 7-16.

Jaén, J. A. & B. Fernández. 1989. Mössbauer spectroscopy study of steel corrosion in a tropical marine atmosphere, *electrochem. Acta*, 34: 885-886.

Jaén, J. A., M. Sánchez de Villalaz, L. de Araque & A. de Bósquez. 1997. Kinetics and structural studies of the atmospheric corrosion of carbon steels in Panama, *Hyp. Int.* 110: 93-99.

Jaén, J.A. & G. Garibaldi. 2004. Estudio del efecto estacional sobre la corrosión atmosférica inicial de aceros de bajo carbono en la ciudad de Panamá, *Tecnociencia* 6 (2): 137-152.

Leidheiser Jr., H. & S. Music. 1982. The atmospheric corrosion of iron as studied by Mössbauer spectroscopy, *Corros. Sci.* 22: 1089-1096.

Morcillo, M., E. Almeida, B. Rosales, J. Uruchurtu & M. Marrocos. 1999. Corrosión y protección de metales en las atmósferas de iberoamérica. Parte I: Mapas de Iberoamérica de corrosividad atmosférica (Red Temática MICAT, XV.1/CYTED). CYTED, Madrid.

Oh, S.J., D.C. Cook & H.E. Townsend. 1999. Atmospheric corrosion of different steels in marine rural and industrial environments, *Corros. Sci.* 41: 1687-1702.

Rancourt, D. G. & J. Y. Ping. 1991. Voigt-based methods for arbitrary-shape static hyperfine parameter distributions in Mössbauer Spectroscopy, *Nucl. Instr. Meth.*, B58: 85-97.

Rincón, A., O.T., de Rincón, C. Haces, N.R. Furet & F. Corvo. 1997. Evaluation of steel corrosion products in tropical climates, corrosion 53(11): 835-841.

Sánchez de Villalaz, M., A.F. de Bósquez & J.A. Jaén. (Eds.). 2000. Corrosividad atmosférica de Panamá. Proyecto MICAT-Panamá. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.

Santana Rodriguez, J.J., F.J. Santana Hernández, J.E. González González. 2002. XRD and SEM studies of the layer of corrosion products for carbon steel in various different environments in the province of Las Palmas (The Canary Islands, Spain), Corr. Sci. 44(11): 2425-2438.

Schwertman, U. & R.M. Cornell. 1996. Iron oxides in the laboratory: structure, properties, reactions, occurrence and uses. VCH Publishers, Inc., New York, NY (USA). 131 pp.

Singh, A.K., T. Ericsson. L. Häggström & J. Gullman.. 1985. Mössbauer and x-ray diffraction phase analysis of rusts from atmospheric test sites with different environments in Sweden, Corros. Sci. 25(10): 931-945.

Recibido abril de 2005, aceptado noviembre de 2005

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE EROTYLIDAE (COLEOPTERA) DEL PARQUE NACIONAL DARIÉN, PANAMÁ

Alonso Santos Murgas

Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, apartado postal 0824-00021 Panamá, Rep. Panamá.
e-mail: asantos@ancon.up.ac.pa ; santosa@si.edu

RESUMEN

Trece géneros y 49 especies de la familia Erotylidae reporto para el Parque Nacional Darién. Se reportan por primera vez para Panamá las siguientes diez especies de Erotylidae: *Erotylus onagga* Lacordaire, 1842; *Iphiclus conspicillatus* Gorham, 1888; *I. cordiger* Crotch, 1876; *Ischyrius palliatus* Lacordaire, 1842; *Mycotretus interstictus* Gorham, 1888; *M. lepidus* Lacordaire, 1842; *M. pecari* Lacordaire, 1842; *M. scitulus* Lacordaire, 1842; *M. sericeonitens* Crotch, 1876; *O. zebra* Fabricius, 1787. Se comenta sobre la diversidad de Erotylidae de Panamá.

PALABRAS CLAVES

Erotylidae, Parque Nacional Darién, Panamá, diversidad.

ABSTRACT

Thirteen genera and forty-nine species of erothylids are reported for Darien National Park, Darien Province, Republic of Panama. The following ten species of erothylids are reported for the first time for Panamá: *Erotylus onagga* Lacordaire, 1842; *Iphiclus conspicillatus* Gorham, 1888; *I. cordiger* Crotch, 1876; *Ischyrius palliatus* Lacordaire, 1842; *Mycotretus interstictus* Gorham, 1888; *M. lepidus* Lacordaire, 1842; *M. pecari* Lacordaire, 1842; *M. scitulus* Lacordaire, 1842; *M. sericeonitens* Crotch, 1876; *O. zebra* Fabricius, 1787. To comment on the diversity of erothylids of Panama.

KEYWORDS

Erotylidae, Parque Nacional Darién, Panamá, diversidad.

INTRODUCCIÓN

La fauna de Erotylidae del Parque Nacional Darién, Panamá (PND) ha sido pobremente estudiada y muy poco se conoce sobre su diversidad. Hasta el presente 122 especies han sido reportadas para Panamá y sólo una de ellas para el Parque Nacional Darién. Se conocen 37 géneros y alrededor de 379 especies en la familia Erotylidae para Norte y Centroamérica (Arnett 1985), (Boyle 1956).

Los Erotylidae son escarabajos cuyas larvas y adultos se alimentan de hongos que causan putrefacción a la madera. Se pueden encontrar debajo de troncos podridos y sobre la corteza de los árboles.

En el presente trabajo se da a conocer por primera vez la diversidad de Erotylidae en el Parque Nacional Darién y se compara con la diversidad de especies previamente reportadas para Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cinco giras de campo fueron realizadas al PND. La primera, del 4 al 13 de abril de 1991, a Cana (Estación Biológica); la segunda, del 6 de febrero al 4 de marzo de 1993, a la Estación Cruce de Mono, Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM); y las tres últimas giras fueron realizadas a la estación Rancho Frio, Cerro Pirre, ANAM: del 21 de marzo al 4 de abril de 2000; 7 noviembre al 16 noviembre de 2000; 18 al 24 enero de 2001.

En Cana las colectas fueron realizadas con una trampa malaise, 30 platos amarillos y manualmente con redes entomológicas. En Cruce de Mono se utilizaron tres trampas (Townes modificada), 80 platos amarillos y manualmente con redes entomológicas. Guardaparques de la Estación Rancho Frio fueron entrenados para coleccionar insectos y darle mantenimiento a cinco trampas malaise, desde el 18 de noviembre de 2000 hasta el 15 de enero de 2001.

En la sección de resultados y discusión se presenta (Cuadro 1) un listado sinóptico de la familia Erotylidae del PND, en orden alfabético con su autor y año de su descripción, número de especímenes atrapados y los lugares donde se colectaron. Se ha seguido la clasificación de Alvarenga (1994) Arnett (1985) y Skelley & Goodrich (1994). En el cuadro 2 se listan los géneros reportados para Panamá, número de especies y

distribución en América (Arnett 1985 & Alvarenga 1994). Abreviaciones: Estación Rancho Frio, Cerro Pirre, PND= CP; Estación Cruce de Mono, PND= CM; Estación Biológica Cana, PND= CA. Áreas cercanas al PND: Villa Darién= VD; El Real= ER. Las fotografías que ilustran este trabajo fueron tomadas con la cámara digital OLYMPUS, de 4.0 megapíxeles. Los especímenes colectados fueron identificados por Paul E. Skelley, Florida State Collection of Arthropods, y depositados en el Laboratorio de Entomología Sistemática, Museo de Invertebrados "G.B. Fairchild" de la Universidad de Panamá.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron en el PND un total de 446 especímenes de erotílicos pertenecientes a dos subfamilias, 13 géneros y 49 especies, cuyos detalles son los siguientes:

EROTYLINAE

Aegithus Fabricius, 1801. Su distribución va desde México hasta Argentina; ocho especies para Panamá: *clavicornis* Linnaeus, 1758 (Fig.1); *dubius* Gorham, 1888 (Fig. 2); *lebasii* Lacordaire, 1842; *meridionalis* Croch, 1873; *politus* Gorham, 1888; *strigicollis* Gorham, 1888; *uva* Lacordaire, 1842 y *varicollis* Lacordaire, 1842. Se colectaron 3 especímenes de *clavicornis* el 18 febrero 1984 en Villa Darién, Provincia Darién y dos especímenes de *dubius* Gorham, 1888 el 30 julio – 8 agosto 2002 en Cerro Pirre, Rancho Frio, PND, Provincia Darién.



Figs: 1. *Aegithus clavicornis* Lineaus, 1758 ; 2. *Aegithus dubius* Gorham, 1888 ; 3. *Ellipticus* sp.

Ellipticus Chevrolat, 1837 (Fig.3). Su distribución va desde Nicaragua hasta Argentina. Cuatro especies presentes en Panamá: *confusus* Crotch, 1873; *gemellatus* Lacordaire, 1842; *jansonii* Crotch, 1873 y *mexicanus* Crotch, 1876. Dos especímenes de El Real, localidad adyacente al PND probablemente representan una especie nueva; dos, Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND, Provincia Darién. Especímenes adicionales de esta nueva especie se encontraron en Arraiján, Campana, Isla de Barro Colorado, Provincia de Panamá y en El Copé, Parque Nacional Omar Torrijos H., Provincia de Coclé.

Erotylus Fabricius, 1775. Se distribuye desde Honduras hasta Argentina; con tres especies en Panamá: *melanostictus* Crotch, 1876; *nigronotatus* Gorham, 1888 y *onagga* Lacordaire, 1842 (Fig.4).

Se colectaron seis especímenes de *onagga*: dos, 5 de abril 1991, Cana, PND y cuatro, 30 julio al 8 de agosto de 2002, Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND. Se registra por primera vez esta especie en Panamá.



Figs: 4. *Erotylus onagga* Lacordaire, 1842 ; 5. *Gibbifer* sp.; 6. *Gibbifer impressopunctatus* Crotch, 1873.

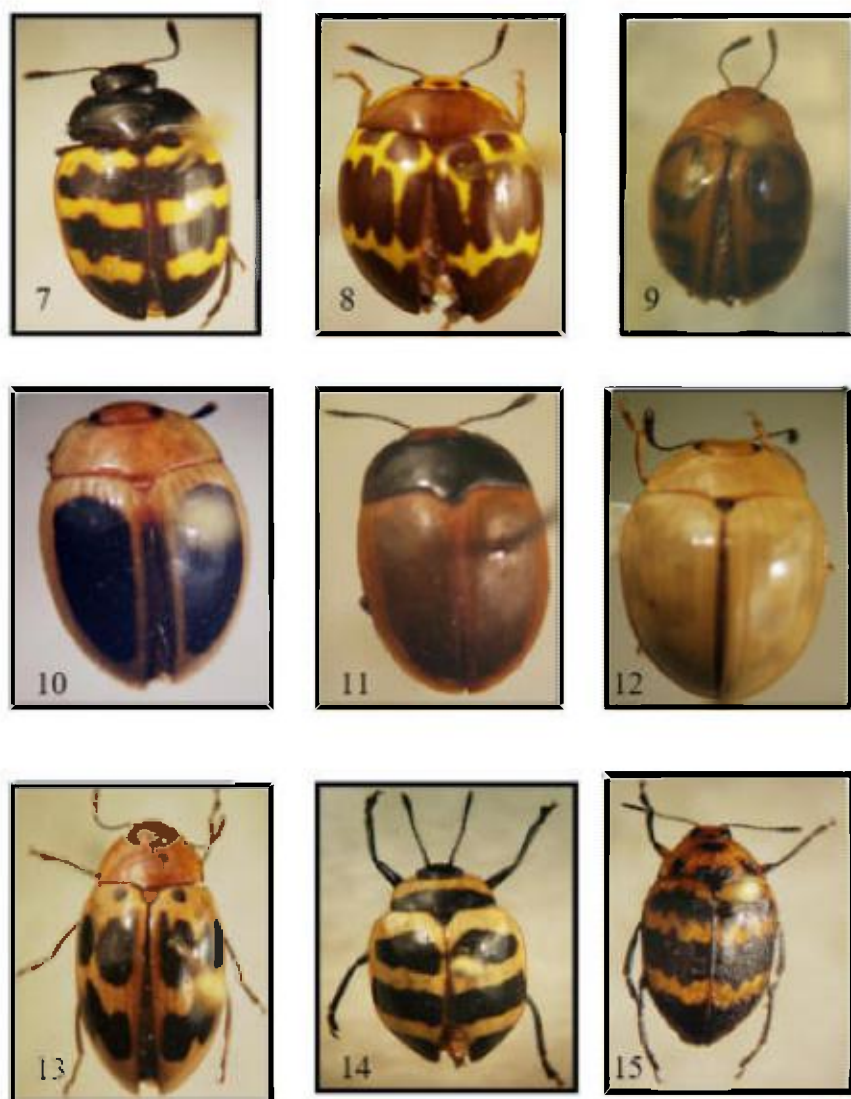
Gibbifer Voet, 1778 (Fig.5). Este género se encuentra distribuido desde Estados Unidos (California) hasta Argentina. Ocho especies son conocidas de Panamá: *costaricensis* Gorham, 1888; *debauvei* Demay, 1838; *dromedarius* Lacordaire, 1842; *elevatus* Fabricius, 1801; *gibbosus* Linnaeus, 1763; *impressopunctatus* Crotch, 1873 (Fig.6); *intercedens* Kuhn, 1905 y *patellatus* Gorham, 1888.

Siete especímenes de *G. impressopunctatus* fueron colectados el 6-13 febrero de 1993, Cruce de Mono, PND y un espécimen, 7-16 noviembre 2000, en Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND, Provincia Darién. La especie *G. dromedarius* se registra aquí por primera vez para Panamá base a dos especímenes colectados en la Provincia de Cariquí, Boquete, 20 de octubre 1978 y 11 de noviembre 1979.

Iphichus Lacordaire, 1842 (Fig.7-13). México hasta Argentina; con 18 especies conocidas de Panamá: *adamsi* Lacordaire, 1842; *brevicollis* Gorham, 1888; *catillifer* Gorham, 1842; *cerens* Gorham, 1888; *conspicillatus* Gorham, 1888; *cordiger* Crotch, 1876; *delineatus* Lacordaire, 1842; *dilectus* Gorham, 1888; *exiguusnotatus* Gorham, 1888; *haematomelas* Lacordaire, 1842; *melanotus* Gorham, 1888; *pallidipennis* Gorham, 1888; *perspicillatus* Lacordaire, 1842; *pulcher* Gorham, 1888; *sedecimmaculatus* Buquet, 1840; *striatipennis* Gorham, 1888; *spectabilis* Lacordaire, 1842; *spilotus* Gorham, 1888. Catorce posibles nuevas especies de *Iphichus* fueron colectadas en Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND, Provincia Darién. También se capturaron 16 especímenes de *I. conspicillatus* y cinco de *I. cordiger*, en la misma localidad. Las siguientes tres especies se registran aquí por primera vez para Panamá: *I. conspicillatus*, *I. cordiger* y en base a dos especímenes colectados en la Provincia de Colón, Portobelo, 14 de febrero 1999 se registra la especie *I. perspicillatus*.

Oligocorinus Chevrolat, 1837. Panamá hasta Brasil; se conocen dos especies en Panamá: *jansoni* Crotch, 1873 y *zebra* Fabricius, 1787 (Fig.14). Dos especímenes de *O. Zebra* se colectaron en Estación Rancho Frio, Cerro Pirre, PND, Provincia Darién, especie que se registra aquí por primera vez para Panamá.

Prepopharus Erichson, 1847 (Fig.15). México hasta Brasil. Una sola especie ha sido previamente registrada para Panamá: *duponcheli* Chevrolat, 1834. Dos posibles nuevas especies se colectaron en Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND, Provincia Darién, y probablemente representan especies nuevas.



Figs: 7. *Iphichus* (*Brachimerus*) sp. Crotch, 1873; 8. *Iphichus* (*Megaprotus*) sp. ; 9. *Iphichus conspicillatus* Gorham, 1888 ; 10. *Iphichus Cordiger* (Crotch), 1876 ; 11-13. *Iphichus* sp. ; 14. *Oligocorynus zebra* Fabricius, 1707 ; 15. *Prepopharus* sp.

TRITOMINAE

Ischyrys Lacordaire, (1842) (Fig.16-17). Mexico hasta Brasil. 26 especies ha sido reportas de Panamá (Skelley 1998): *angularis* Lacordaire, 1842; *auriculatus* Lacordaire, 1842; *bogotae* Crotch, 1876; *boucardi* Crotch, 1876; *collatinus* Crotch, 1876; *cordiformis* Skelley, 1998; *descipennis* Lacordaire, 1842; *elegantulus* Lacordaire, 1842; *ephippiotus* Gorham, 1887; *frontalis* Lacordaire, 1842; *fulmineus* Delkeshamp, 1957; *impressus* Skelley, 1998; *incertus* Lacordaire, 1842; *minus* Skelley, 1998 (Fig.16); *mystacis* Skelley, 1998; *nicaraguae* Crotch, 1873; *panamanus* Mader, 1942; *palliatius* Lacordaire, 1842 (Fig.17); *parallelus* Skelley, 1998; *proximus* Lacordaire, 1842; *putei* Skelley, 1998 *quinquepunctatus* Gorham, 1887; *scriptus* Oliver, 1807; *scutellaris* Gorham, 1887; *tetrasticus* Gorham, 1887; *undulatus* Gorham, 1887. Un espécimen de *I. palliatius* y dos de *I. mystacis* se colectaron cerca de Estación Rancho Frio, Cerro Pirre, PND, Provincia Darién. *I. palliatius* se registra por primera vez para Panamá.

Apolybas Alvarenga, 1965 (Fig.18). México hasta Brasil; dos especies han sido reportadas para Panamá: *anisotomoides* Gorham, 1888 y *carbuncula* Lacordaire, 1842. once especímenes de una especie de *Apolybas* no determinada fueron colectadas en Cerro Pirre, Estación Rancho Frio, PND, enero 1993 y noviembre 2002, y un sólo especimen en Cruce de Mono, PND, Provincia Darién.



Figs: 16. *Ischyrys mystacis* Skelley, 1998 ; 17. *Ischyrys palliatius* Lacordaire, 1842 ; 18. *Apolybas* sp.

Mycophthorus Lacordaire, 1842 (Fig.19). Honduras hasta Perú; 2 especies en Panamá. *pauperculus* Lacordaire, 1842 y *vernix* Casey, 1916. Ocho especímenes de una especie no determinada de *Mycophthorus* se colectaron en enero 1991 y noviembre 2001 en Cruce de Mono y dos en Cerro Pirre, PND, Provincia Darién.

Mycotretus Lacordaire, 1842 (Fig.20-33). México hasta Argentina. 35 especies reportadas previamente en Panamá: *alternans* Gorham, 1888; *atricaudatus* Gorham, 1888; *bipunctatus* Gorham, 1888; *brevis* Gorham, 1888; *cercyonoides* Gorham, 1888; *consanguineus* Gorham, 1888; *cribratus* Gorham, 1888; *fasciolatus* Lacordaire, 1842 (Fig.20); *fuscitarsis* Lacordaire, 1842; *geminus* Gorham, 1888(Fig.21); *haemapterus* Gorham, 1888; *incarnatus* Gorham, 1888; *interstitialis* Gorham, 1888; *interstictus* Kubnt, 1910 (Fig.22); *laccophilinus* Gorham, 1888; *lepidus* Lacordaire, 1842 (Fig.23); *luteolus* Gorham, 1888; *maculatus* Oliver, 1792; *melanotus* Gorham, 1888; *nitescens* Gorham, 1876; *noterinus* Gorham, 1888; *oppositipunctum* Gorham, 1888; *ornatus* Duponchel, 1825; *panamanus* Gorham, 1888; *pecari* Lacordaire, 1842 (Fig.24); *pictopiceus* Gorham, 1888; *planis* Gorham, 1888; *pygmaeus* Lacordaire, 1842; *sanguinosus* Crotch, 1876; *savignyi* Lacordaire, 1842; *scitulus* Lacordaire, 1842 (Fig.25); *sericeonitens* Crotch, 1876 (Fig.26); *sexpunctatus* Gorham, 1888; *spadiceus* Gorham, 1888 (Fig.27); *stramineus* Gorham, 1888. 232 especímenes de *Mycotretus* fueron colectados en el PND, de las siguientes 17 especies: *fasciolatus*, *geminus*, *pecari*, *sexpunctatus*, *interstictus*, *lepidus*, *scitulus*, *sericeonitens* y nueve posibles nuevas especies. Las cuatro últimas especies de *Mycotretus* se registran por primera vez para Panamá.



Figs: 19. *Mycophthorus* sp.; 20. *Mycotretus fasciolatus* Lacordaire, 1842 ; 21. *Mycotretus geminus* Gorham, 1888.



Figs: 22. *Mycotretus interstictus* Gorham, 1888; 23. *Mycotretus lepidus* Lacordaire, 1842 ; 24. *Mycotretus pecari* Lacordaire, 1842 ; 25. *Mycotretus scitulus* Lacordaire, 1842 ; 26. *Mycotretus sericeonitens* Crotch, 1879; 27. *Mycotretus sexpunctatus* Gorham, 1888; 28. *Mycotretus* sp. ; 29. *Mycotretus* sp. ; 30. *Mycotretus* sp.



Figs: 31. *Mycotretus* sp.; 32. *Mycotretus* sp.; 33. *Mycotretus* sp.

Pselaphacus Percheron, 1835 (Fig.34,35). México hasta Brasil. Once especies han sido reportadas de Panamá: *conspersus* Kirsch, 1883; *curvipes* Guérin-Méneville, 1841 (Fig.35); *ducalis* Crotch, 1876; *gorhami* Kuhnt, 1909; *nicaraguae* Crotch, 1873; *poecilosomus* Lacordaire, 1842; *puncticollis* Guérin-Méneville, 1841; *semiclathratus* Lacordaire, 1842; *signatus* Guérin-Méneville, 1841; *trifasciatus* Lacordaire, 1842; *vitticollis* Crotch, 1873. Un individuo de *curvipes* y una especie no determinada se colectaron en Cerro Pirre, Estación Rancho Frío PND. Se registran por primera vez para Panamá las siguientes tres especies de *Pselaphacus*: *ducalis* (Un espécimen de las Cumbres, mayo-junio 1984; un espécimen en el Parque Summith Gardens, 27 octubre 1979, Provincia de Panamá y un espécimen de Bahía Honda, Río Limón, Provincia de Veraguas) *semiclathratus* (un espécimen de la Isla Barro Colorado, 3-9 octubre 1984; un espécimen de Tumba Muerto 29 marzo 1981 y un espécimen de las cumbres, mayo-julio 1984, Provincia de Panamá) y *trifasciatus* (un espécimen de Volcan, 15 junio 1995, Provincia de Chiriquí).

Pseudolybas Gorham, 1888 (Fig.36). Género conocido sólo para Panamá, con dos especies: *glaber* Gorham, 1888 y *vernatus* Gorham, 1888. Se colectaron cuatro especímenes de *glaber* en Cerro Pirre, Estación Rancho Frío, PND.



Figs: 34. *Pselaphacus* sp. ; 35. *Pselaphacus curvipes* Guérin-Meneville, 1841 ; 36. *Pseudolybas glaber* Gorham, 1888.

Cuadro 2. Géneros de Erotylidae y número de especies reportadas para Panamá (Arnett 1985, Alvarenga 1994).

EROTYLINAE	Nº. ESPECIES	DISTRIBUCIÓN
<i>Aegithus</i> Fabricius, 1801	8	México - Argentina
* <i>Barytopus</i> Chevrolat, 1837	1	Costa Rica - Brasil
<i>Ellipticus</i> Chevrolat, 1837	4	Nicaragua - Argentina
<i>Erotylus</i> Fabricius, 1775	3	Honduras - Argentina
<i>Gibbifer</i> Voet, 1778	8	US (Calif.) - Argentina
<i>Iphichus</i> Lacordaire, 1842	18	México - Argentina
<i>Oligocorynus</i> Chevrolat, 1837	1	Panamá - Brasil
* <i>Plastococcus</i> Gorham, 1898	2	Panamá
<i>Prepopharus</i> Erichson, 1847	1	México - Brasil
* <i>Scaphidomorphus</i> Hope, 1841	1	Panamá - Brasil
* <i>Strongylosomus</i> Chevrolat, 1837	2	México - Argentina
TRITOMINAE		
<i>Apolybas</i> Alvarenga, 1965	2	México - Brasil
<i>Ischyus</i> Lacordaire, (1842)	20	México - Brasil
<i>Mycophorus</i> Lacordaire, 1842,	2	Honduras - Peru
<i>Mycotretus</i> Chevrolat, 1837	35	México - Argentina
<i>Pselaphacus</i> Percheron, 1835	11	México - Brasil
<i>Pseudolybas</i> Gorham, 1888	2	Panamá

* Géneros ausentes del PND

De los 13 géneros de Erotylidae presentes en el PND, 12 se encuentran distribuidos ampliamente en América, desde Estados Unidos hasta Brasil. *Plastococcus* y *Pseudolybas* son los únicos géneros presente en Panamá que no han sido registrados en ninguna otra parte de América. Este último género se encontró presente en el PND.

Los dos géneros con más especímenes colectados del PND fueron: *Mycotretus* (232 especímenes) e *Iphichus* (139 especímenes). Estos dos géneros presentan 33 especies (67.34 % de las 49 especies) y 371 especímenes (83.18 % de los 446 especímenes colectados en el PND). Los otros 11 géneros colectados en el PND representan 16 especies (32.65 %) y sólo 75 especímenes (16.81 %). Los géneros más diversos fueron *Mycotretus* con (17 especies) y *Iphichus* (16 especies).

Los otros 11 géneros en el PND sólo presentan entre una y dos especies por géneros. Las dos especies con más individuos colectados en el PND fueron: *Mycotretus fasciolatus* (23 especímenes) y *Mycotretus pecari* con (21 especímenes). Para Panamá ahora reconozco 17 géneros (Cuadro Nº. 2) y 132 especies de Erotylidae (sin incluir las 30 morfoespecies del PND). Es muy difícil hacer un estimado del número de especies presentes en el PND porque no se han llevado a cabo muestreos continuos y porque no se han utilizado trampas de luz ultra-violeta. Estimamos que podrían haber no menos de 200 especies de Erotylidae en el PND y que el PND podría alojar por lo menos el 30% de las especies presentes en Panamá. Considero importante que en el PND se continuen realizando muestreos con mayor frecuencia ya que este posee una abundancia de recursos biológicos y una alta diversidad de Erotylidae. Además, es indispensable que sigan manteniendo y protegiendo los bosque del PND y que se le brinde con tal fin todo el apoyo necesario a ANAM.

REFERENCIAS

Alvarenga, M. 1994. Catálogo dos Erotylidae (Coleoptera) Neotropical. *Revista Brasileira de Zoologia* 11(1): 1-175.

Arnett, R. H. Jr. 1985. *American Insects, a handbook of the Insects of America north of Mexico*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. 850 pp.

Boyle, W.W. 1956. A revision of the Erotylidae of America north of Mexico (Coleoptera). *Bulletin American Museum Natural History* 110(2): 61-72.

Skelley, P. E. & M. A. Goodrich. 1994. Case 2885. *Ischyrus* Lacordaire, 1842, *Libas* Lacordaire, 1842, *Mycotretus* Lacordaire, 1842 and *Megischyrus* Crotch, 1873 (Insecta, Coleoptera): Proposed Conservation. *Bulletin of Zoological Nomenclature* 51(2): 128-132.

Skelley, P. E. 1998. Revision of the genus *Ischyrus* Lacordaire (1842) of North and Central America (Coleoptera: Erotylidae: Tritominae). *Occasional Papers of the Florida State Collection of Arthropods* 9: 1-134.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Alfonso Sanabria del Proyecto Comanejo, por su apoyo en la obtención de una parte de los fondos para las giras de campo al Parque Nacional Darién. A Ricardo Rivera, Indra Candanedo y Laura Fernández de la Dirección Nacional de Patrimonio Natural, ANAM, por la ayuda en los trámites de los permisos de colectas y alojamiento en la estación. Al Profesor Roberto A. Cambra T. por su valiosa cooperación en las colectas de campo. A Narciso "Chicho" Bristán, Luis Pizarro, Antonio Henrris, Aristides Tucama, Christian Barrios, Eliseo Pandales, Luis Pacheco y Leonardo Bustamante, personal de ANAM que labora en el Real y en la estación Rancho Frio, Cerro Pirre, por la ayuda brindada durante el trabajo de campo. Agradecemos finalmente al Dr. Diomedes Quintero A. por todo el apoyo logístico y Angel Aguirre, Smithsonian Tropical Research Institute, por ayudarnos en la localización de las referencias bibliográficas. Mi agradecimiento a IDEA WILD (Biodiversity Conservation Organization), en especial a Wally Van Sickle, por donarme una camara digital OLYMPUS, de 4.0 megapixeles, con las que se tomaron las fotografías que ilustran el presente trabajo. El trabajo de campo en parte fue apoyado por fondos de Biodarién (PAN/ 94/ G31).

Recibido febrero de 2005, aceptado diciembre de 2005

MEDICIÓN DEL FLUJO ESPIRATORIO MÁXIMO EN NIÑOS ESCOLARES ASMÁTICOS Y SU RELACIÓN CON EL EJERCICIO FÍSICO

José Young, Lesbia De Gracia, Gilberto Becerra

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal.

RESUMEN

El asma bronquial es una enfermedad que afecta a más de 300 millones de personas a nivel mundial. Es una patología que se caracteriza por aumento de la resistencia en las vías respiratorias y se encuentra dentro del grupo de las enfermedades del sistema respiratorio conocidas como obstructivas. El Flujo Espiratorio Máximo (FEM), medido con el flujómetro MiniWright, es una evaluación confiable de la resistencia que se ha desarrollado al flujo de aire por las vías respiratorias y es una variable que se ve seriamente afectada en los asmáticos. En una muestra de 74 niños, referidos como asmáticos, con una edad promedio de $8,87 \pm 1,91$ años; peso de $35,65 \pm 12,17$ kg y talla de $134,55 \pm 12,86$ cm se midió un valor promedio del FEM en reposo de $247,11 \pm 63,98$ l/min; tras un periodo de seis minutos de trote en superficie plana el FEM fue de $261,08 \pm 61,72$ l/min esta diferencia no fue significativa ni entre las mujeres (t : 0.2252; α : 0.05) ni entre varones (t : 0.2616; α : 0.05). De acuerdo a la clasificación del asma, según el valor de FEM, el 42,8% de los sujetos son normales, 42,8% con asma leve, el 14,3% asmáticos moderados y no se encontró ningún caso severo de asma. Los sujetos estaban en fase asintomática del asma, de acuerdo a estos resultados no se observó reducción del valor de FEM post ejercicio. Las correlaciones antropométricas fueron: peso-FEM r : 0.63; $p < 0,01$; estatura- FEM r : 0.77; $p < 0,01$. Correlación con la edad: r : 0.81; $p < 0,01$.

PALABRAS CLAVES

Asma, flujo espiratorio máximo, ejercicio, talla, peso.

ABSTRACT

Asthma is a disease that affects more than 300 million people worldwide. It is an obstructive pathology with increased airway resistance. The Peak Expiratory Flow (PEF) is decreased in asthmatics. The evaluation of airway resistance with a Mini Wright flow meter is a reliable measurement. In a population of 74 children, aged 8.87 ± 1.91 yrs; weighted 35.65 ± 12.17 kg and heighten 134.55 ± 12.86 cm; Average PEF at rest was 261.08 ± 61.72 l/min and after a 6 min exercise 261.08 ± 61.72 l/min this difference has no statistical significance for females ($r: 0.2252$; $\alpha: 0.05$) neither for males ($r: 0.2616$; $\alpha: 0.05$). In relation to PEF, the subjects were classified within normal values (42,8%), mild asthma (42,8%), moderately asthmatic (14,3%) and none severed asthmatic. The subjects (42,8%) were asymptomatic and no post exercise PEF reductions were observed. The anthropometric correlations were the following: weight-PEF $r: 0.63$; $p < 0.01$; height-PEF $r: 0.77$; $p < 0.01$. Age- PEF correlation: 0.81 ; $p < 0.01$.

KEYWORDS

Asthma, peak expiratory flow, exercise, height, weight.

INTRODUCCIÓN

El asma bronquial es una de las enfermedades respiratorias más comunes en el mundo, se ha estimado que actualmente existen alrededor de 300 millones de personas que padecen esta patología. La prevalencia del asma se ha incrementado debido al desarrollo de hipersensibilidad a los alérgenos, mayor grado de contaminación ambiental (Fredberg 2004) y consumo de tabaco que resultan en aumento de la resistencia en las vías respiratorias asociada a hiperreactividad bronquial producto de exposición de las terminaciones nerviosas tras destrucción del epitelio bronquial. El asma, junto con el enfisema y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, es el prototipo de las enfermedades del sistema respiratorio conocidas como obstructivas . Se ha estimado que para el año 2025 habrán adicionalmente 100 millones más de personas con asma. (Masoli et al., 2004; Procopio 1999; Guyton 1994).

Se ha hecho de relativa frecuencia en nuestro medio la presencia del asma como una enfermedad entre los escolares y que algunas veces llega a ser considerada incapacitante. En los pacientes con asma inducida por ejercicio, se ha observado hiperpnea asociada con la actividad física seguida de obstrucción de la vía aérea y se ha reportado un aumento de leucotrieno E₄ (LTE₄) en orina. Este cistenil

leucotrieno, así como el LTD₄, derivados del metabolismo del ácido araquidónico son agonistas potentes del músculo liso bronquial. La reactividad elevada del bronquio con la consecuente constricción ha sido documentada (Fredberg 2004; Lara-Pérez 1999), sin embargo, en los niños asmáticos asintomáticos todavía persisten dudas en cuanto a las generalizaciones para efectos de políticas de control y de diagnóstico de la severidad del asma (Barrueto et al., 2002; Lara-Pérez 2001, 2002).

El flujo espiratorio pico o flujo espiratorio máximo (**FEM**) es una medida confiable de la resistencia que desarrolla la vía respiratoria al flujo de aire y puede alterarse seriamente en los asmáticos. El FEM se puede medir utilizando un espirómetro clínico y también a través de flujómetros, que son dispositivos confiables y cuyos resultados han sido validados en grandes poblaciones tanto anglosajonas como latinoamericanas. Basado en los valores de FEM los sujetos se clasifican si la medición del FEM resulta >91% de valor pre-establecido, afección leve 71-90% de FEM, moderado con 51-70% de FEM y severo o grave con valor de FEM menor del 50% con respecto a los valores de referencia de cada uno de los flujómetros que se utilicen. Se ha recomendado el uso de esta técnica por su bajo costo, no obstante, en la práctica se le utiliza poco para el control y diagnóstico del asma. (Cobos et al., 1996; Polgar & Promedhat 1971; Leiner et al., 1963.)

En la República de Panamá carecemos de estadísticas de las dimensiones reales de este problema y de la relación de broncoconstricción – ejercicio físico que exacerbe el cuadro asmático. Se ha demostrado disminución del valor de FEM luego del ejercicio físico en más del 75% de una población asintomática con diagnóstico clínico de la enfermedad, con mayor prevalencia en varones y mayor severidad en los sujetos del sexo femenino. (Testa et al., 2003). La Global Initiative for Asthma (GINA) considera como criterio diagnóstico la caída del FEM en más del 15% luego de ejercicio (trotar) durante seis minutos (Masoli et al., 2004).

En un grupo de estudiantes de escuela primaria del área de la ciudad de Panamá, con historia de asma, se midieron los valores de FEM en reposo y luego de actividad física. Se clasificó su grado de afección de acuerdo al valor de FEM y se hicieron las correlaciones en cuanto a peso, talla y edad.

Objetivos:

Generales

1. Medir el flujo espiratorio máximo en escolares del nivel primario.
2. Aplicar criterios diagnósticos de asma.
3. Clasificar a los asmáticos de acuerdo al grado de severidad del asma basado en el FEM.
4. Recomendar medidas de intervención a nivel de atención primaria.

Específicos

1. Relacionar la variación del valor de FEM con una carrera libre de 6 minutos máximo.
2. Comparar el valor de FEM del asmático con valores patrones de referencia.
3. Relacionar estadísticamente los valores con los datos de sexo, peso y talla.

Hipótesis de Trabajo:

H_0 : El valor promedio de FEM de los asmáticos es igual al de los de referencia.

H_1 : El valor promedio de FEM de los asmáticos es menor al de los de referencia.

H_2 : El ejercicio físico promueve broncoconstricción que disminuye el FEM.

METODOLOGIA

1. Criterios de selección de los sujetos.
 1. Cursar la escuela primaria.
 2. Inclusión de los sujetos: con diagnóstico médico de asma, saberse asmático o haber sufrido alguna crisis asmática durante un año.
 3. Obtención de los datos generales de cada sujeto mediante encuesta y medición en el área de trabajo: sexo, peso, talla. Número de evaluadores: 3.

2. Área seleccionada para el muestreo: gimnasio de la escuela. Temperatura: 28°C.
3. Medición del FEM con el flujómetro Mini Wright Standard (60-800 L/min, Clement Carke Int., UK). Medidor de flujo recomendado por la American Thoracic Society, por el National Institute of Health y el National Heart, Lung and Blood Institute de los Estados Unidos y ha sido usado en personas no caucásicas.
4. El FEM se midió, sin período de práctica, estando el sujeto de pie haciendo una espiración forzada, a través del flujómetro, luego de una inspiración máxima en dos situaciones:
 1. En reposo (**FEM1**).
 2. 1-2 minutos después de correr y trotar en superficie plana durante 6 minutos (**FEM2**).

Cada sujeto espiró tres veces y se tomó el valor máximo como lectura registrada.

5. Análisis estadístico: los valores son presentados como promedio con su desviación estándar. Se utilizó la prueba *t* para la diferencia de medias y prueba de correlación de Pearson entre FEM y datos antropométricos.

RESULTADOS

La población en estudio es de 74 niños con una edad promedio de 8,87 $\pm$ 1,91 años; peso de 35,65 $\pm$ 12,17 kg y talla de 134,55 $\pm$ 12,86 cm. La distribución de la edad, peso y talla según género se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Datos generales de la población estudiada.

		Promedios $\pm$ DS		
	n	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)
Masculino	41 (55,41%)	8,78 $\pm$ 2,07	34,02 $\pm$ 12,08	133,29 $\pm$ 13,41
Femenino	33 (44,59%)	9,0 $\pm$ 1,90	37,68 $\pm$ 13,51	136,12 $\pm$ 12,17
Total	74 (100%)	8,87 $\pm$ 1,91	35,65 $\pm$ 12,17	134,55 $\pm$ 12,86

El valor promedio del FEM1 (en reposo) fue de 247.11 ± 63.98 l/min para toda la población mientras que el FEM2 (post ejercicio) fue de 261.08 ± 61.72 l/min; en este estudio se observó un aumento del valor de FEM post ejercicio. Cuando agrupamos a los sujetos de acuerdo al sexo se observa entre los sujetos del sexo femenino un promedio de FEM1 de 253.21 ± 61.93 l/min y de FEM2 de 265.15 ± 65.77 l/min ($r: 0.2252$; $\alpha: 0.05$); en los varones el FEM1 fue de 242.19 ± 65.936 l/min mientras que, el FEM2 fue de 257.80 ± 58.88 l/min ($r: 0.2616$; $\alpha: 0.05$); estas diferencias carecen de significancia estadística. Si comparamos los datos de la población en estudio con los valores de referencia del flujómetro Mini Wright, se observa que la mayoría de los sujetos tienen un FEM en reposo (FEM1) menor al valor predicho tanto los varones FEM1(v) como las mujeres FEM1(f) (Fig. 1). La comparación de los valores obtenidos de FEM1 y de FEM2, nos indica que en nuestra población no hubo reducción de estos valores como se ha observado en otros estudios (Barrueto et al., 2002; Lara Pérez 1999).

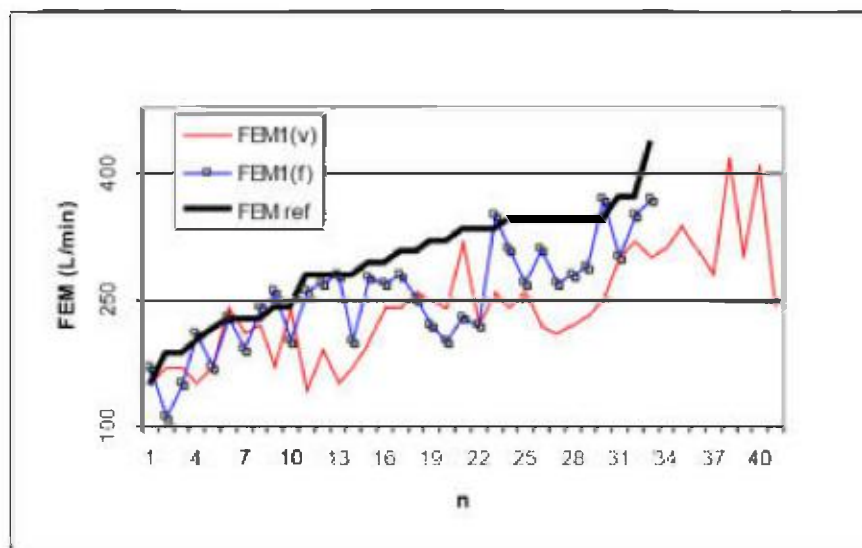


Fig. 1. Comparación de valores de FEM1 con los de referencias Mini Wright (según sexo). FEM1(v): valor de FEM en varones; FEM(f): valor FEM en mujeres; FEMref: valor FEM referencia con flujómetro MiniWright en población mejicana (Lara Pérez 1999, 2001).

Esta diferencia puede obedecer a error en la técnica de espiración forzada partiendo de una inspiración máxima; también debido a condiciones ambientales como temperatura y humedad que estimulan la ventilación por efecto térmico; y que los valores de referencia no se ajusten a una población local (Cobos et al., 1996; Polgar & Promedhat 1971; Leiner 1963) y sobre todo a condiciones de salud de los sujetos quienes habían tenido un evento asmático o sus padres referían que padecían de asma. Si comparamos los valores de nuestro estudio con datos de poblaciones hispanas según datos espirométricos (Barrueto et al., 2002) se observa que nuestros resultados son todavía inferiores lo que puede explicarse por los flujómetros utilizados (Mini Wright vs Access). No obstante llama la atención que los estudiantes panameños siguen estando por debajo de los valores de referencia.

DISCUSIÓN

Dado el hecho de que los sujetos del estudio fueron seleccionados basados en su historia de enfermedad asmática estos resultados eran los esperados cuando se comparan con los sujetos sanos en cuanto a los valores de FEM en reposo tanto con las escalas de referencia de los flujómetros Mini Wright y Access.

Con base a los resultados del FEM se clasifica a la población en estudio de acuerdo a la severidad del asma haciendo una relación porcentual del valor del sujeto con respecto al esperado o de referencia. En el caso de los varones se observa un valor porcentual promedio de 77,16%, mientras que, en el sexo femenino el valor promedio de FEM fue de 87,14%, es decir, la mayoría de los sujetos se clasifican en la categoría de leve (con 71-90% de FEM).

Si se estratifican los resultados de acuerdo a la distribución de los sujetos en cada una de las categorías de la clasificación se observa que no hubo ningún caso severo de asma, la mayoría eran “normales” o leves y pocos moderados; debemos tener presente que son sujetos asintomáticos (Fig. 2.) Nuestra población a pesar de tener valores más bajos que los esperados o de referencia para sexo y talla, debemos indicar que estaban en una fase asintomática por lo que, la mayoría de ellos fueron clasificados como normal o leve en cuanto a la severidad del asma. Con el ejercicio no se observó disminución del FEM con significancia estadística.

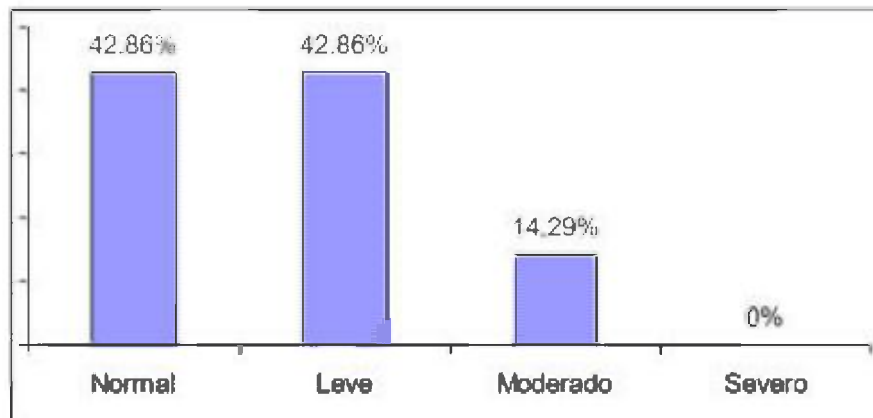


Fig. 2. Clasificación del Asma de acuerdo al FEM.

Las variables respiratorias dependen de medidas antropométricas como talla y peso, el FEM no es la excepción. Los datos de nuestra población en cuanto a las relaciones peso – FEM y talla – FEM fueron de correlación significativa: peso-FEM $r:0.63$; $p<0,01$ con una variabilidad de 40% dada por el peso; en el caso de la estatura la correlación fue de $r: 0.77$; $p<0,01$ con una variabilidad de 60% dada por la talla. En ambos casos estas asociaciones demuestran que en general las medidas antropométricas y la determinación del FEM se encuentran dentro de parámetros aceptables (Cobos et al., 1996) desde el punto de vista técnico y fisiológico. Aunque con menor frecuencia estudiada, la relación del FEM - edad ocurre especialmente en los niños debido a los cambios anatómicos progresivos. En este estudio la correlación fue muy alta ($r: 0.80$; $p<0,01$) con una variación (r^2) de 31% atribuible al factor edad. En las Figuras 3 (A,B,C) se observan las curvas y datos de dispersión o relación entre las medidas del FEM con el peso, la talla y la edad.

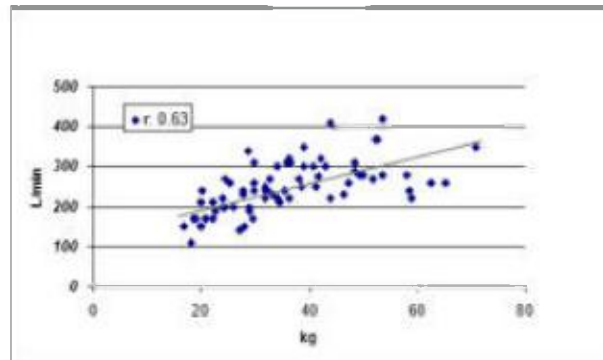


Fig. 3A. Relación Peso - FEM1.

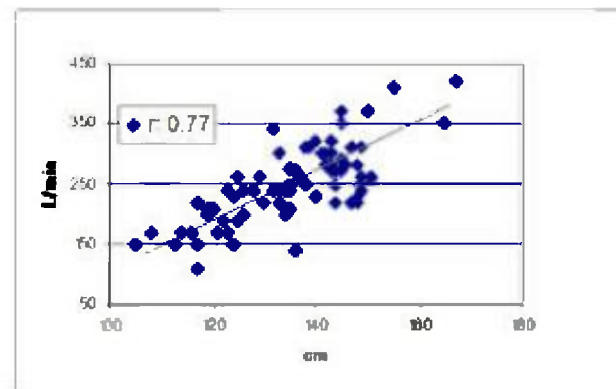


Fig. 3B. Relación Talla - FEM1.

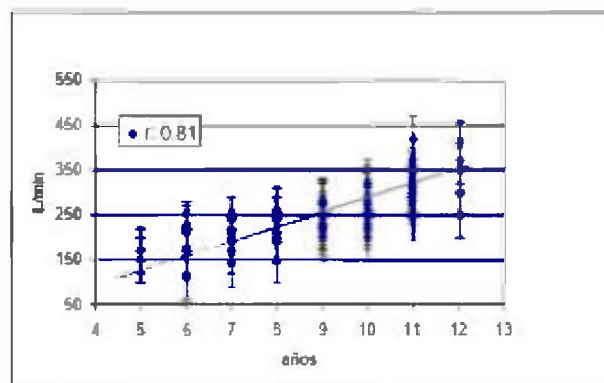


Fig.3C. Relación Edad- FEM1.

La mayoría de la literatura acerca del flujo espiratorio máximo hace referencia a las relaciones de sexo y talla. En este estudio también observamos que había relación alta con la edad de los sujetos considerando ambos sexos (r : 0.81; p <0,01 ; r^2 : 65.3).

CONCLUSIÓN

La mayor parte (85.72%) de los sujetos asintomáticos mostraron valores de FEM1 menores que los de referencia, sin embargo, no mostraron reducción del FEM por efecto de la actividad física; por lo que de acuerdo a sus valores han sido clasificados como normales o de asma en grado leve. El 14,3% de los sujetos presentaron valores de FEM que los clasifican como asmáticos moderados y no se encontró ningún caso de asma severo.

Se encontró una correlación significativa en cuanto a las relaciones de los valores de FEM con medidas como la talla y el peso y con variables como edad y sexo.

Existen variables de difícil control en el estudio como la propia velocidad o intensidad de la prueba que cada individuo desarrolla durante el ejercicio físico, la magnitud del esfuerzo espiratorio durante la medición del FEM; las condiciones naturales de temperatura, humedad y saturación de oxígeno; condiciones propias de cada sujeto al momento de hacer la prueba.

Recomendamos que se hagan pruebas con otros espirómetros y con una muestra mayor de individuos sanos y asmáticos. Además debe medirse el valor de la capacidad cronometrada en el primer segundo (FEV1) o el flujo espiratorio forzado y hacer las correlaciones y comparaciones con el PEF frente al hecho de que al relacionar el PEF con la FEF50% se ha reportado baja sensibilidad del PEF como índice de función de las vías respiratorias más pequeñas.

Con este estudio y otros que se realicen relacionando el tratamiento farmacológico del asma, se podría reducir el número de consultas por crisis asmática, las restricciones físicas que se le imponen a los niños (sean recreativas o deportivas) y el monitoreo de control de tratamiento en casa a muy bajo costo.

REFERENCIAS

- Barrueto, L., R. Estrella, C. Rodriguez & J. Mallol. 2002. Induced by exercise maximum expiratory flow fall in asymptomatic asthmatic children. *Rev Colomb Neumol.* 14:96-102.
- Cobos, N., C. Reverté & S. Liñán Cortés. 1996. Evaluación de dos medidores portátiles de flujo espiratorio máximo y valores de referencia para escolares de 6-16 años. *An Esp Pediatr.*; 45:616-625.
- Fredberg, J.J. 2004. Bronchospasm and its biophysical basis in airway smooth muscle. *Respir Res.* 5(1): 2.
- Goldberg, S., S. Chaim, A. Avital, S. Godfrey & E. Bar-Yishay. 2001. Can Peak Expiratory Flow Measurements Estimate Small Airway Function in Asthmatic Children? *Chest.* 120:482-488.
- Guyton, A.C. 1994. Fisiología y Fisiopatología. 5ª ed. Interamericana McGraw Hill. México.
- Lara-Pérez, E.A. 2001. Flujo espiratorio máximo (FEM) en niños asmáticos asintomáticos. *Foro Latinoamericano de Asma.*
- Lara-Pérez, E.A. 2002. Clínica del asma: ¿En realidad es útil? *Alerg Asma Inmunol Pediatr.* 11 (2): 41-47.
- Lara-Pérez, E.A. 1999. Flujo espiratorio máximo en escolares sanos. *Congreso Nacional de Pediatría, Colegio de Pediatras del Estado de Sonora.* Septiembre.
- Leiner, G.C., S. Abramowitz, M.J. Small, V.B. Stenby & W.A. Lewis. 1963. Expiratory peak flow rate. Standard values for normal subjects. *Am Rev Resp Dis.* 88:644.
- Masoli, M., D. Fabian, S. Holt & R. Beasley. 2004. The Global Burden of Asthma Report Summary. GINA report, corrected version, Wellington, New Zealand.
- Polgar, G. & V. Promedhat. 1971. Pulmonary function testing in children: Techniques and standards. Phyladelphia.

Procopio, N. 1999. Asma. Primera Edición. Asociación de Alergia, Asma e Inmunología. Buenos Aires, Argentina.

Testa, M., M.I. Grillo, E.J. Fernández, G. Ozon & M. Kohan. 2003. Detección de asma inducida por ejercicio en una población escolar de Capital Federal Volumen 34: Suplemento 1.

Recibido agosto de 2005, aceptado diciembre de 2005.



A METHODOLOGY FOR FILTERING AND INVERSION OF SURFACE WAVES: AN EXAMPLE OF APPLICATION TO THE LITHOSPHERIC STRUCTURE DETERMINATION OF THE SOUTH IBERIA

Victor Corchete

Higher Polytechnic School, University of Almeria, 04120 ALMERIA, Spain.
e-mail: corchete@ual.es , Fax +34 950 015477.

ABSTRACT

Most important features of the earth structure can be studied through the analysis of Rayleigh wave dispersion. This consists on its filtering and inversion to obtain shear wave velocity distribution with depth. I have applied this analysis to show lithospheric structure of South Iberia, by means of a set of 2D images of shear velocity for depths ranging from 1.5 to 46 km. The data used to obtain Rayleigh wave dispersion are the traces of 44 earthquakes, occurred on the neighbouring of Iberia. These earthquakes have been registered at 3 WWSSN stations located on Iberia. These stations have been considered because period range of best registration for WWSSN seismograph is the more suitable to explore the elastic structure of the Earth, for the depth range which is the objective of this study. I have proceeded to group all seismic events in source zones to obtain a dispersion curve for each path source-station. Dispersion curves are obtained by digital filtering with a combination of MFT and TVF filtering techniques. Thus, a set of source-station averaged dispersion curves was obtained. This set of dispersion curves is inverted according to generalized inversion theory, to obtain shear wave velocity models for each source-station path. These models can be interpolated to obtain a 2D mapping of the elastic structure of South Iberia, by kriging method. This mapping reveals the principal structural features of South Iberia and surroundings zones. Such features, as the existence of lateral and vertical heterogeneity in the study area, also can be seen in Moho depth mapping presented in this paper. Finally, I want to remark that no shear velocity models have been obtained for intermediate depths (5 to 30 km), up to date, for the Iberian area. For this reason, this is the goal of the study presented in this paper.

KEYWORDS

MFT, TVF, Inversion, Rayleigh waves, Lithosphere, South Iberia.

RESUMEN

Las características más importantes de la estructura terrestre pueden ser estudiadas por medio del análisis de la dispersión de las ondas Rayleigh. Este análisis consiste en filtrado e inversión para obtener la distribución de velocidad de la onda de cizalla con la profundidad. Como ejemplo, se ha aplicado este análisis para mostrar la estructura litosférica del sur de Iberia, por medio de un conjunto de imágenes 2D de la velocidad de cizalla para profundidades que van desde 1.5 a 46 km. Los datos usados para obtener la dispersión de ondas Rayleigh han sido las trazas de 44 terremotos, ocurridos en las proximidades de Iberia. Estos terremotos han sido registrados en 3 estaciones WWSSN situadas en Iberia. Estas estaciones han sido elegidas porque el rango de periodo en el cual registra mejor el sismógrafo WWSSN, es el más adecuado para explorar la estructura terrestre, dentro del rango de profundidad que es objetivo de este estudio. He procedido a agrupar todos los eventos sísmicos en zonas fuente para obtener una curva de dispersión para cada trayectoria fuente-estación. Las curvas de dispersión son obtenidas por filtrado digital con una combinación de las técnicas de filtrado MFT y TVF. Así, obtengo un conjunto de curvas de dispersión fuente-estación. Este conjunto de curvas de dispersión es invertido de acuerdo con la teoría de la inversión generalizada, para obtener modelos de velocidad de onda de cizalla para cada trayecto fuente-estación. Estos modelos pueden ser interpolados para obtener un mapa 2D de la estructura elástica del sur de Iberia, por el método de kriging. Este mapa revela las principales características estructurales del sur de Iberia y zonas próximas. Tales características, como la existencia de lateral y vertical heterogeneidad en el área de estudio, también pueden ser vistas en el mapa de profundidad del Moho presentado en este artículo. Finalmente, quiero señalar que, hasta la fecha, no se han obtenido nunca modelos de velocidad de cizalla para el rango de profundidad intermedia considerado en este estudio (desde 5 a 30 km), en el área ibérica. Por ello, este es el objetivo del estudio presentado en este artículo.

PALABRAS CLAVES

MFT, TVF, Inversión, ondas Rayleigh, Litosfera, Sur de Iberia.

INTRODUCTION

As it is well know, surface waves show dispersion along the propagation path and this dispersion is related to the Earth structure crossed by the waves. This basic property allows using of dispersion analysis techniques as a tool to study important features of the Earth structure. Such kind of analysis consists on filtering and inversion of surface waves to obtain shear wave velocity versus depth. A pioneer

study of dispersion analysis carried out in the Iberian Peninsula, by Payo (1965), was an estimation of Rayleigh wave dispersion along a path between the two WWSSN stations at Toledo and Malaga, to obtain the first shear velocity model for Iberia. Later, several shear velocity models have been obtained for this study area for deep structure with depths raging 30 to 250 km (Badal et al., 1990; Corchete et al., 1993, 1995) and for shallow depths from 0 to 5 km (Navarro et al., 1997; Chourak et al., 2001, 2003). Nevertheless, no shear velocity models have been obtained for intermediate depths (5 to 30 km); this is the goal of the study presented in this paper. Thus, the purpose of this paper is to show the South Iberian lithosphere structure by means of a set of 2D images of shear velocity for depths ranging from 1.5 to 46 km. This study will be completed in the future by the obtaining of a set of images for the Northern part of Iberia.

Data set

44 earthquakes occurred in the neighbouring of Iberia, have been considered in this study (Table 1). These earthquakes have been registered at 3 WWSSN stations located in this region. I considered LP instruments of the WWSSN stations because the period range of best registration for these seismographs is between 5 to 45 s, as it can be seen in the Figure 1.

Table 1. List of events used in this study.

Event n°	Date D M Y	Origin Time Hr Min Sec	Location	
			Lat (°N)	Long (°E)
1	04 09 1963	05 06 42.0	36.000	5.200
2	15 11 1964	20 03 52.0	34.800	- 5.400
3	07 09 1965	06 16 47.0	35.200	4.500
4	26 08 1966	05 56 19.0	38.100	- 8.600
5	27 05 1967	01 54 24.0	35.700	- 0.200
6	13 07 1967	02 10 24.0	35.400	- 0.200
7	06 03 1969	19 23 43.0	36.200	- 10.700
8	20 04 1969	16 12 13.0	35.800	- 9.200
9	05 05 1969	05 34 25.0	36.000	- 10.300
10	06 09 1969	14 30 35.0	36.900	- 12.000
11	30 12 1970	20 57 29.0	37.100	- 14.500
12	16 03 1972	21 31 33.0	37.400	- 2.300
13	18 04 1972	05 51 51.0	36.300	- 11.200
14	24 08 1973	10 50 57.0	36.000	- 2.100
15	24 11 1973	15 22 09.0	36.100	4.400
16	24 11 1973	14 05 49.0	36.100	4.400
17	25 11 1973	04 20 25.0	36.100	4.400
18	28 06 1974	11 09 35.0	36.300	5.300
19	29 06 1974	01 06 52.3	36.300	5.200
20	13 07 1974	15 57 20.0	35.900	4.700
21	14 04 1977	07 17 10.1	36.180	5.360
22	14 08 1978	14 17 50.3	36.300	- 7.000
23	09 05 1980	09 21 36.7	35.430	1.100
24	13 10 1980	14 33 48.2	36.280	1.290
25	14 10 1980	17 35 02.1	36.220	1.330
26	15 10 1980	03 17 24.7	36.190	1.290
27	19 10 1980	21 47 24.2	35.510	1.200
28	22 10 1980	16 23 15.8	36.220	1.280
29	23 10 1980	09 57 56.7	36.350	1.320
30	30 10 1980	23 38 14.9	36.180	1.340
31	01 02 1981	23 00 42.0	36.370	1.640
32	05 02 1981	09 12 33.2	36.350	1.440
33	14 02 1981	13 15 18.0	35.850	1.220
34	20 02 1981	20 41 02.9	35.400	1.180
35	19 04 1981	19 29 35.4	35.510	-0.240
36	11 09 1982	21 35 51.9	36.320	1.600
37	11 09 1982	04 48 41.6	35.560	1.310
38	15 11 1982	20 07 52.4	35.590	1.250
39	24 01 1983	16 34 09.4	39.720	- 14.480
40	31 03 1984	03 31 56.0	36.410	1.520
41	27 10 1985	19 34 59.7	36.380	6.710
42	12 02 1989	12 02 21.6	36.330	2.600
43	12 04 1990	22 47 55.6	36.740	2.480
44	19 01 1992	20 21 33.1	36.090	1.520

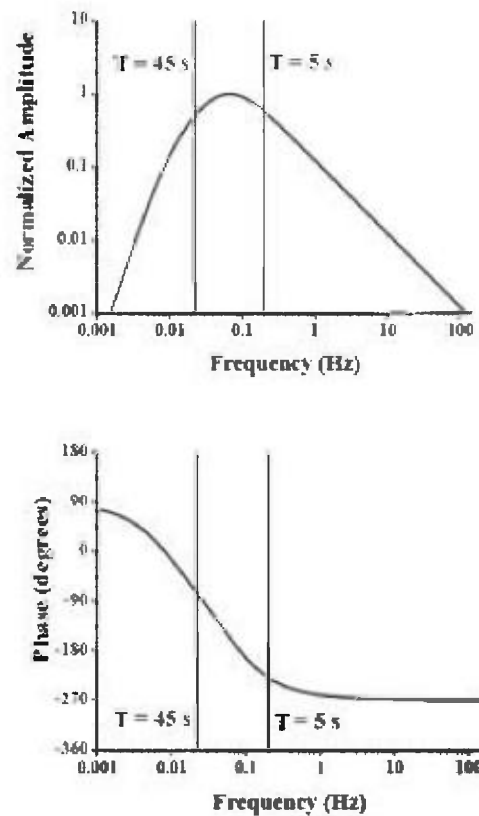


Fig. 1. Frequency dependent response characteristics for LP-WWSSN seismograph system.

This range of period is the more suitable to explore the elastic structure of the Earth, for a depth range which is the objective of this study (from 5 to 30 km of depth, approximately).

Only were considered traces in which a well-developed Rayleigh wave train is present, with a very clear dispersion, to ensure the reliability of the results of this study (Fig. 2). Logically, instrumental response must be taken to account to avoid the time lag introduced by the seismograph system. This time lag can be appreciated in Figure 2. In this Figure we also can see the magnification of short period produced after application of the instrument correction. This magnification

recovers the true amplitude of this range of period and allow us to analyse the short period dispersion with more reliability. For both reasons, all the traces considered in this study were corrected for instrument response.

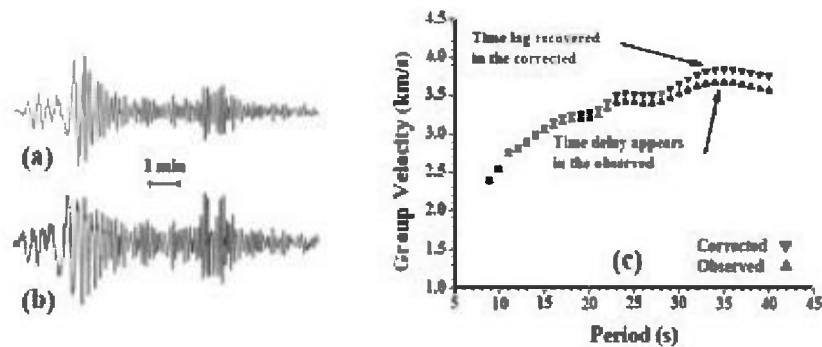


Fig. 2. (a) Observed seismogram corresponding to the vertical component of the Rayleigh wave due to the event 16 (as listed in Table 1). This trace was recorded at EBR station (as listed in Table 2). (b) The above seismogram with instrumental correction. (c) Dispersion curves of both seismograms (plotted in (a) and (b)) show the time lag produced by the seismograph system.

Grouping seismic events in source zones

Rayleigh waves propagating along very near epicentre-station paths show quite similar dispersion curves, because the waves cross the same Earth structure and the elastic properties of the medium are also the same. Thus, all seismic events listed in Table 1 were grouped in source zones as listed in Table 3. These source zones are defined as a location in which have occurred seismic events with similar epicentre coordinates. The coordinate differences for a group of events in the same source zone, must be less than or equal to 0.2 degrees in latitude and longitude. By this procedure, a dispersion curve for each path source-station was obtained and it is listed in Table 4, when are averaged the dispersion curves obtained analysing each trace of the event registered at this station. I obtain also small deviations considered as errors that can be described by the standard deviation. Figure 3 shows the path coverage of the study area, as a result of the above described criteria for grouping of the events.

Table 2. List of WWSSN stations used in this study.

Station code	Latitude (°N)	Longitude (°E)
EBR	40.821	0.493
MAL	36.728	-4.411
TOL	39.881	-4.049

Table 3. List of source zones used in this study.

Zone code	Latitude (°N)	Longitude (°E)
S1	36.000	5.200
S2	35.200	4.500
S3	38.100	-8.600
S4	35.700	-0.200
S5	35.400	-0.200
S6	36.200	-10.700
S7	35.800	-9.200
S8	36.000	-10.300
S9	36.900	-12.000
S10	37.100	-14.500
S11	37.400	-2.300
S12	36.300	-11.200
S13	36.000	-2.100
S14	36.100	4.400
S15	36.300	5.300
S16	35.900	4.700
S17	36.300	-7.000
S18	35.430	1.096
S19	36.276	1.288
S20	36.370	1.640
S21	35.850	1.220
S22	35.560	1.310
S23	36.380	6.710
S24	36.330	2.600
S25	36.740	2.480
S26	36.090	1.520
S27	35.510	1.204
S28	39.720	-14.480
S29	34.800	-5.400
S30	36.220	1.330
S31	35.590	1.250

Table 4. List of paths epicentre-station crossing the study area and events involved (as listed in Table 1, 2 and 3).

Path	Events
S1-TOL	1
S2-TOL	3
S3-TOL	4
S4-TOL	5,35
S5-TOL	6,35
S6-TOL	7
S7-TOL	8
S8-TOL	9
S9-TOL	10
S10-TOL	11
S11-TOL	12
S12-TOL	13
S13-TOL	14
S14-TOL	15,16,17
S15-TOL	18,19
S16-TOL	20
S17-TOL	22
S18-TOL	23,27,34,38
S19-TOL	24,25,26,28,29,30,32
S20-TOL	31,32,36,40
S21-TOL	33
S22-TOL	37,38
S23-TOL	41
S24-TOL	42
S25-TOL	43
S26-TOL	25,30
S10-EBR	11
S11-EBR	12
S14-EBR	15,16,17
S15-EBR	18,19,21
S16-EBR	20
S19-EBR	24,25,26,28,29,30
S27-EBR	27,37
S21-EBR	33
S28-EBR	39
S25-EBR	43
S26-EBR	25,30,44
S1-MAL	1
S29-MAL	2
S3-MAL	4
S4-MAL	5
S5-MAL	6
S12-MAL	13
S15-MAL	18,19
S30-MAL	25,28,29,30
S31-MAL	38
S28-MAL	39
S23-MAL	41

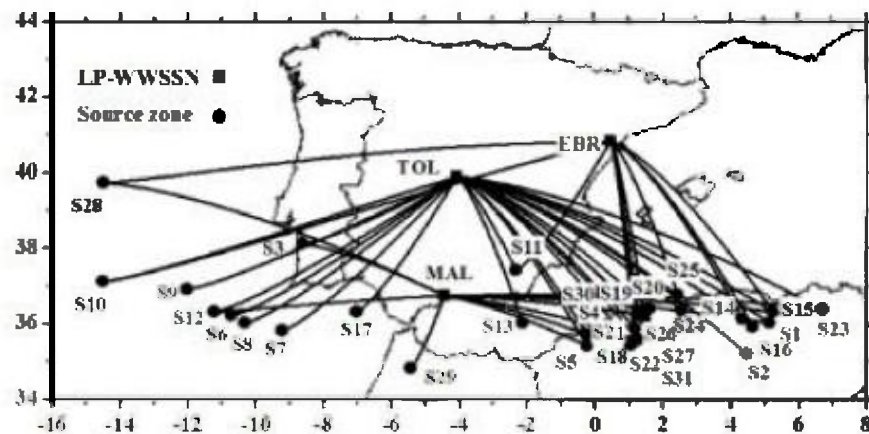


Fig. 3. Iberian area covered by the Rayleigh waves.

Dispersion analysis

Once the events were grouped was obtained the Rayleigh wave group velocity dispersion curves for the trace of each event registered, by means of applying digital filtering techniques. MFT (Multiple Filter Technique) and TVF (Time Variable Filtering) were used to obtain the group velocity dispersion curve, as it is show in the flow chart displayed in Figure 4.

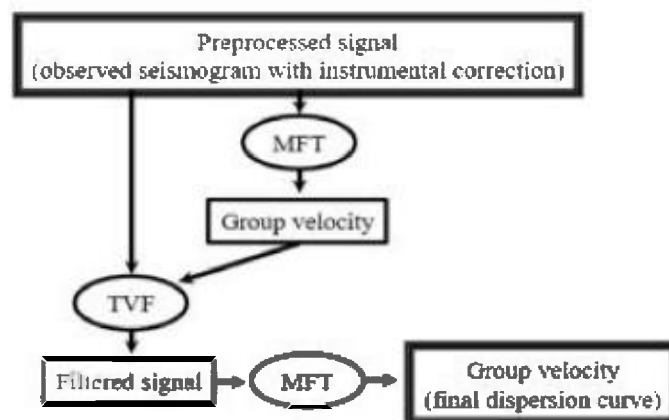


Fig. 4. Steps followed in the filtering process of each event-station seismogram to obtain its dispersion curve. Circles are used to denote the application of a digital filtering technique and rectangles are used to denote the results obtained. Enhanced rectangles are used to show initial data and final results.

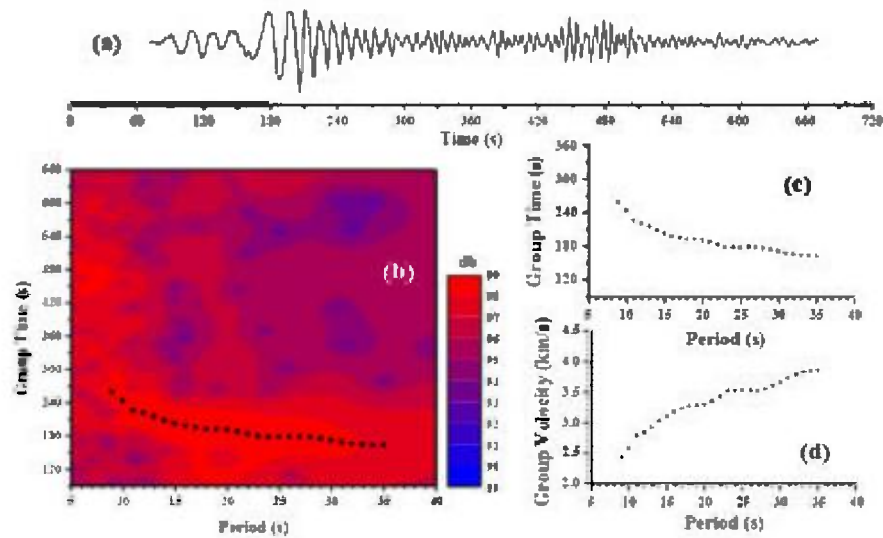


Fig. 5. (a) Observed seismogram corresponding to the event 16 (as listed in Table1) recorded at EBR station, instrument corrected. (b) Contour map of relative energy normalized to 99 decibels, as a function of period and group time (points denote group times inferred from the energy map). (c) Group time curve inferred from the energy map. (d) Group velocities calculated from the group times and epicentral distance (group velocity is the epicentral distance divided by the group time for each period).

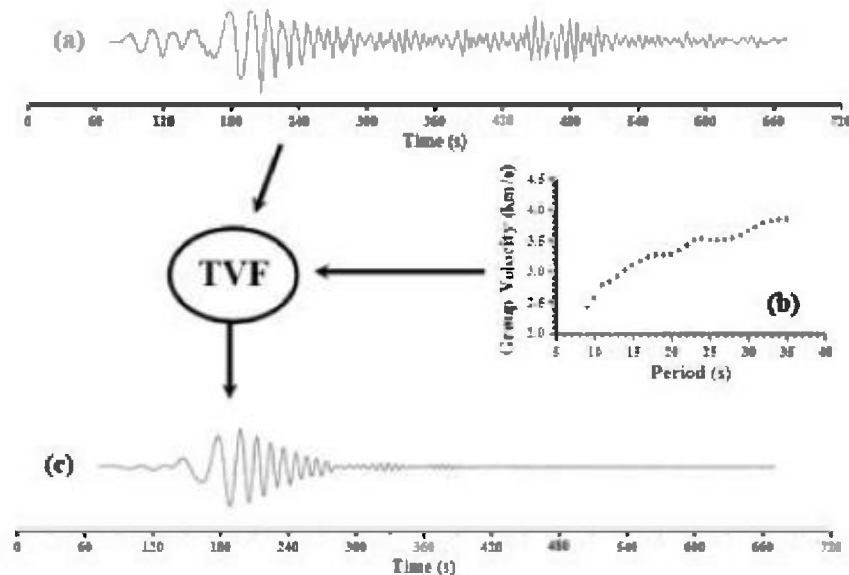


Fig. 6. (a) Observed seismogram corresponding to the event 16 (as listed in Table1) recorded at EBR station, instrument corrected. (b) Group velocity dispersion curve obtained after application of MFT as it show in Figure 5. (c) Time-variable filtered seismogram.

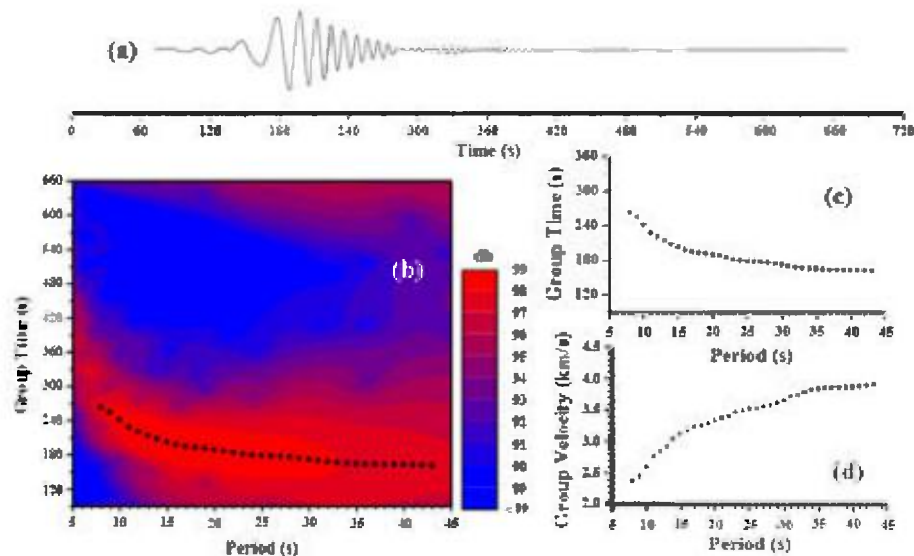


Fig. 7. (a) Time-variable filtered seismogram obtained after application of TVF as it is show in Figure 6. (b) Contour map of relative energy normalized to 99 decibels, as a function of period and group time (points denote group times inferred from the energy map). (c) Group time curve inferred from the energy map. (d) Group velocities calculated from the group times and epicentral distance.

As an example, the filtering process described above was applied to the event 16 (as listed in Table 1) corresponding to S14-EBR path. This trace was previously corrected of the instrumental effect as it is shown in Figure 2; next, I applied MFT (Dziewonski *et al.*, 1969; Corchete *et al.*, 1989) to this trace as it is shown in Figure 5. The dispersion curve obtained plus this trace are used to obtain the digital filtered signal by using TVF (Cara, 1973; Corchete *et al.*, 1989). Figure 6 show the time-variable filtered signal as a result of TVF. Finally, in Figure 7 we can see the final dispersion curve obtained after application of MFT to the filtered signal (as it was showed in the flow chart of Figure 4).

A comparison between Figures 5 and 7 indicates that the filtering process I propose in this paper (and displayed in Figure 4) works better than the application of MFT only. Contour maps of relative energy plotted in Figures 5b and 7b, show the improved achieved after application of TVF combined with MFT versus the application of MFT to the observed seismogram without TVF. Period range has been

increased in the group velocity dispersion curve after application of MFT to the time-variable filtered signal, versus the application of MFT to the observed signal, as it can be seen when we compare Figures 5d and 7d. Dispersion curve obtained after application of MFT only, reach to a maximum period of 35 seconds whereas the maximum period reached in the dispersion curve showed in Figure 7d is 44 seconds. Moreover, the group velocity dispersion curve plotted in Figure 5d is not as smooth as this plotted in Figure 7d which is determined by the proposal process of filtering (MFT and TVF combined). Considering the improvements mention above, this filtering process is revealed as a powerful tool for dispersion analysis. For this reason, this filtering process is considered today as a standard tool for dispersion analysis in long and short period (Badal et al., 1996; Chourak et al., 2003).

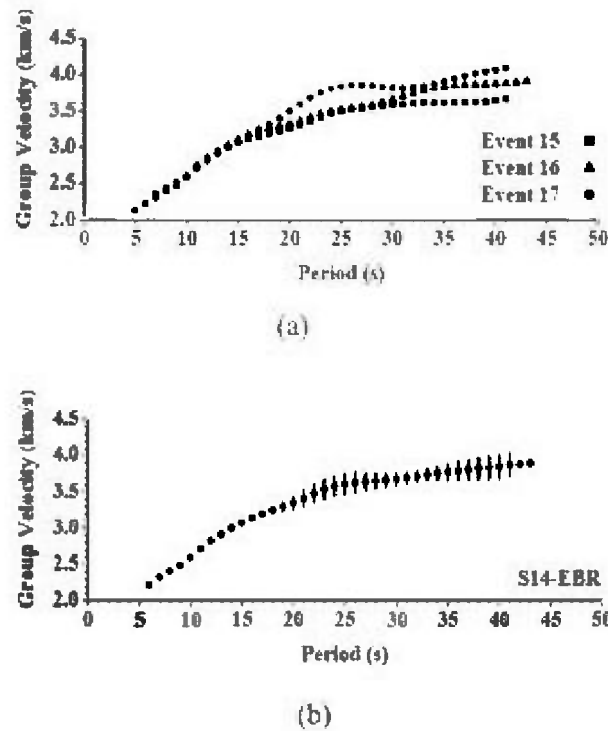


Fig. 8. (a) Group velocity dispersion curves obtained after application of MFT and TVF, following the filtering process displayed in Figure 4 to each trace of the events 15, 16 and 17 (as listed in Table 1). (b) Path-average dispersion curve for S14-EBR path (as listed in Table 4) calculated from the group velocities plotted in Figure 8a. Dots denote average group velocity and vertical bars show the standard deviation at each period ($1-\sigma$ errors).

Once all dispersion curves of the traces for the events involved in a path were calculated, by means of the filtering process described above, was proceed to obtain the group velocity for this path. In Figure 8, we can see as an example the path average dispersion curve for S14-EBR path. For each event involved in this path, was calculated previously its dispersion curve, with the above-described combination of filtering techniques (MFT and TVF), obtaining after the average group velocity as a mean of the group velocity values obtained for each period. An estimation of the error for the average group velocity is obtained computing the standard deviation of the values involved in the calculation of this media. In Table 4, some paths have only one event involved. Logically, not all events are well registered in all stations; events with a bad trace were discarded in this study to ensure the reliability of the results. In this case, error estimation is a mean of the standard deviations obtained for the other paths, in which there are more than one event involved. This error is already 0.05 km/s for the paths considered in this study.

Following this procedure, was determined a dispersion curve of group velocity for each path listed in Table 4, obtaining a set of source-station averaged dispersion curves with $1-\sigma$ errors (one standard deviation). A set of dispersion curves like this, can be inverted to obtain shear wave velocity models as will be describe below, which is the goal of the present study joint to a 2D mapping of the elastic structure of the South Iberia.

Inversion process

Was followed the inversion method for surface wave dispersion detailed by Badal et al. (1992). This method was also briefly described by Badal et al. (1990), including a flow chart of this inversion process. Nevertheless, significance and principal application of the concepts as resolving kernels, forward modelling and inverse approach; are described with more detail by Badal et al. (1992). Here, was briefly described these concepts to explain how is achieved a shear velocity model for a path-average dispersion curve previously obtained, with all reliability and accuracy that it is possible to do it.

Selection of an initial model is a previous step before the inversion process. In this case, was chosen as initial earth model a mean earth model obtained by Corchete et al. (1995) for Iberia. In this model, the

Moho discontinuity was changed from 31 km to 17.5 km of depth, because theoretical dispersion curve obtained in this way is more similar to the path-average dispersion curves, than theoretical curve obtained from this model with a Moho discontinuity at 31 km depth. This change is necessary due to the inversion scheme selected, in which, only are considered small perturbations for the wave velocities involved (Badal et al., 1992). This method conditions the choice of an initial model as similar as possible to the true earth structure, represented by the path average dispersion curves and all geophysical information available for the studied area structure. The model considered here is listed in Table 5 and its shear wave velocity distribution with depth is plotted in Figure 9a. Theoretical group velocity shown in Figure 9b, is obtained by forward modelling as it is described by Aki and Richards (1980). Once the starting model was ready, was proceed to the inversion of each path-average group velocity obtained previously, to obtain the shear velocity models for each path considered. A program based on the generalized inversion theory, which flow chart is showed by Badal et al. (1990), was used. In Figure 10 is shown an example of the results of such program. In this example, S14-EBR dispersion curve was inverted. Shear velocity model shown in Figure 10a, is the final model obtained for this path, by means of an iterative process in which model is improved at each iteration. The improvement in model iteratively obtained, is checked by comparison between group velocity considered as observed data (S14-EBR dispersion curve) and theoretical dispersion curve, calculated from the actual model by forward modelling. If these curves are closer than the previous iteration, the process converges. When theoretical curve falls within the vertical error bars of the observed, as can be seen in Figure 10c, inversion process finish, because the shear velocity model obtained describes the observed curve within its experimental error.

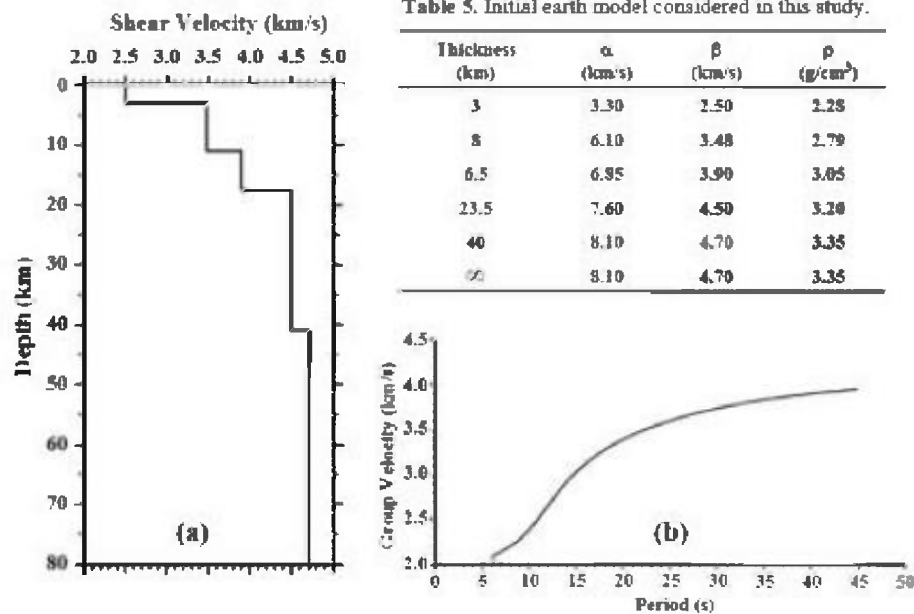


Fig. 9. (a) Shear velocity distribution of the initial model (as listed in Table 5). (b) Theoretical group velocity obtained from the initial model listed in Table 5, by means of forward modelling.

Resolving kernels showed in Figure 10b indicate the reliability of the solution obtained to the inverse problem. Resolving kernels are row vectors of the resolution matrix and therefore a measure of the exactness in the solution of the inverse problem (Tarantola 1987). A good agreement between calculated solution and true solution (which implies the reliability of the estimated solution), is obtained when the absolute maxima of these functions fall over the reference depths. These reference depths are defined as the media depth of each layer considered in the model. This reliability is also related to the width of these absolute maxima. The solution achieved to the inversion problem is more reliable when the maxima of these resolving kernels are narrower.

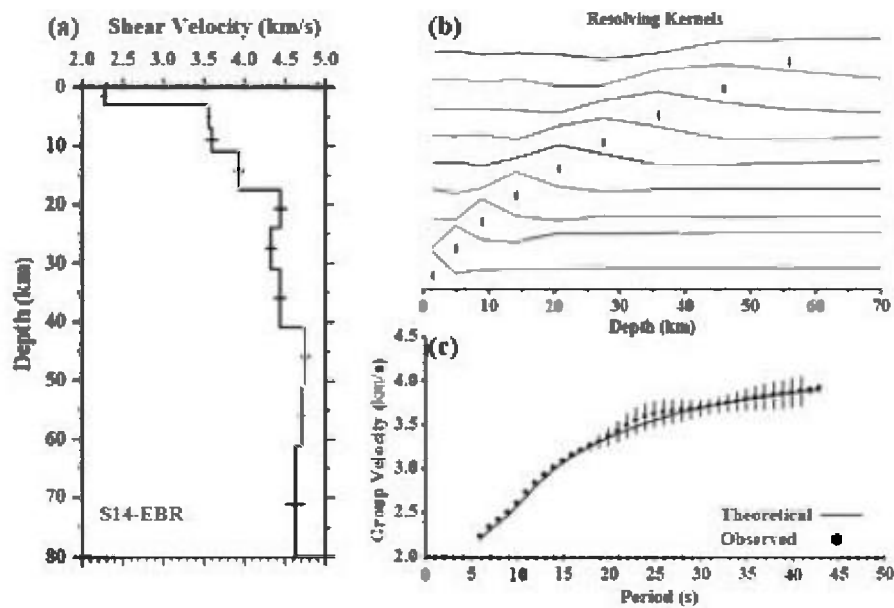


Fig. 10. (a) Shear wave velocity model obtained after inversion process for S14-EBR path. Horizontal bars show standard deviation for each layer considered in this inversion process (10 layers). (b) Resolving kernels of the inversion problem posed. Reference depths are marked by vertical bars for the depth of each layer considered. (c) Theoretical group velocity obtained from the final model plotted in Figure 10a, is showed with continuous line (labelled as theoretical). Dots line denotes average group velocity obtained for S14-EBR path (labelled as observed) and vertical bars show the standard deviation at each period ($1-\sigma$ errors in the observed data).

To improve the solution reliability the number of layers considered in model to the minimum number of layers must be reduced. This is necessary to obtain a detailed shear velocity distribution with depth, as it is required to satisfy observed dispersion data within its error. If a large number of layers are considered, the number of unknowns is increased but the data are the same; as a result, resolution becomes worse. This effect is showed by resolving kernels with absolute maxima more width and a lack of coincidence between the maxima of these functions with the reference depths.

Another method to improve resolution is considering layers with thickness that increased with depth as resolution worsen. This effect can be seen in Figure 10b, resolving kernels make worse as depth increased. To avoid this effect as is possible, the layer thickness

considered in my model increases with depth. Thus, shallow layers are thinner than deeper layers, which are thicker.

Shear wave velocity mapping

Results presented in this paper involved 48 source-station paths in which has been calculated the shear velocity distribution with depth. All this widespread information is hard to handle for the geophysical interpretation without any way of mapping. For this reason, I have interpolated these data to put on a regular grid suitable for plotting with contour maps. Thus, ray paths shown in Figure 3 are converted in point data, for this, each path is divided in 9 equidistant points along this path, as it is shown in Figure 11. I have checked the mapping with adding more points by path, but mapping have not changed significantly. Once the ray paths have been assigned to points, I have point data of shear velocities for each layer considered in the 1-D shear velocity models. Then, I can interpolate these point data for each layer obtaining a regular data grid for each reference depth. Later I can proceed to map with contours these gridded data obtaining a 2-D image of shear velocity, for each reference depth. Such 2-D images can be more easily interpreted and correlated with geophysical and geological information, available for the study area.

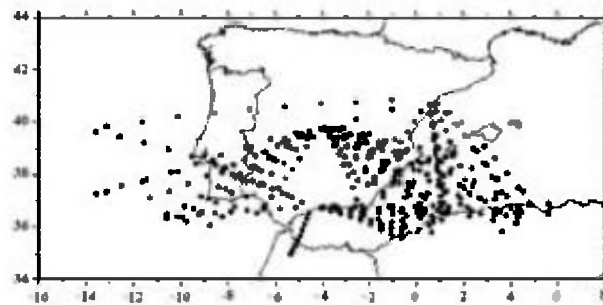


Fig. 11. Distribution of shear velocity data available for later interpolation in a regular grid.

I have used the MICROCAL software package (© 2002 MICROCALTM Software, Inc.) for the computation of this regular data grid from the point data velocities, distributed as it is show in Figure 10b. This software package is based on a kriging routine that follows

the kriging method described by Davis (1986). A measure of guarantee and reliability of this interpolation is checked testing the gridded data values, by means of comparison between the input values and the output values predicted by this interpolation. For each reference depth, interpolation process is finished with a computation of standard deviation of the differences between the input and predicted values. After this interpolation process, is obtained the gridded data for each reference depth. The gridded data are distributed for study area in a 100x30 regular grid with a mesh size of $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ and 3000 points.

Figure 12 show the results of such interpolation process mapped with contours, for all reference depths less than or equals to 46 km. I have not considered depths deeper than 46 km, because resolution of these depths is poor, as it can be seen in Figure10b; therefore, the results obtained to these depths can be considered doubtful.

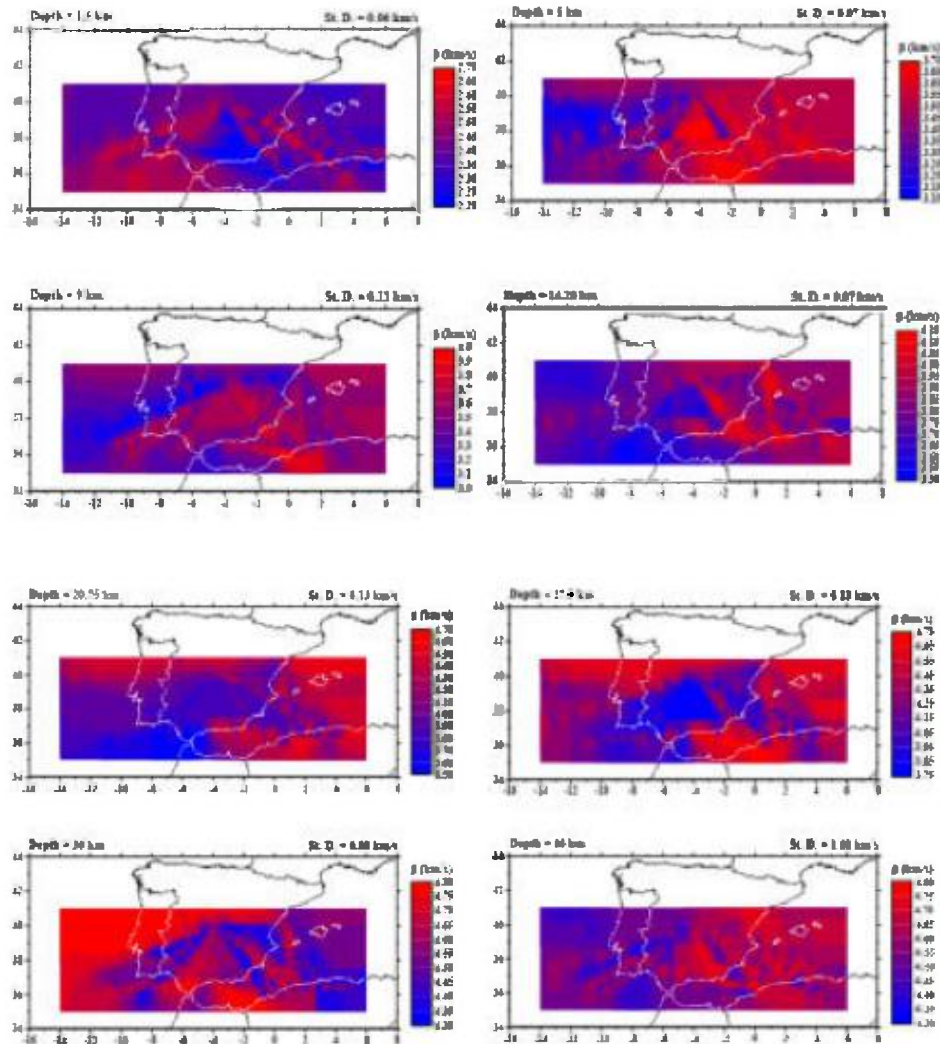


Fig. 12. Shear velocity mapping obtained from the source-station shear velocities after interpolation by kriging. On the left upper corner of the plates, are showed the reference depths. On the right upper corner, are showed the standard deviations obtained for these reference depths.

CONCLUSIONS

Results presented in this paper show the techniques used here as a powerful tool to investigate the structure of crust and upper mantle, through dispersion analysis and shear velocity mapping. By means of these techniques are revealed the principal structural features of the

South Iberia and surroundings zones. Such features are the existence of lateral and vertical heterogeneity in whole study area, as it is concluded when we can see Figure 12; in which, I show a general picture of lithospheric structure from 1.5 to 46 km. In general, the old geological formations of the Iberia show a greater shear velocity than the younger formations. Also it is appreciated that higher velocity values appear in the zones with more shallow Moho depth. This effect can be seen easily, if a Moho depth mapping is carry out to the study zone. To do this, I have taken for each point of regular grid defined in previous section, the depth in which shear velocity is greater than 4.0 km/s, constructing a matrix of Moho depths that can be plotted later. This matrix plotted with contours in Figure 13a. Figures 13b, 13c and 13d; show profiles in several directions that allow appreciating the different ways to make thin of crust. In general, continental crust has a media thickness of 31 km, while marine crust is thinner with a media thickness of 15 km. Some degree of heterogeneity also can be appreciated also in Moho depths distribution.

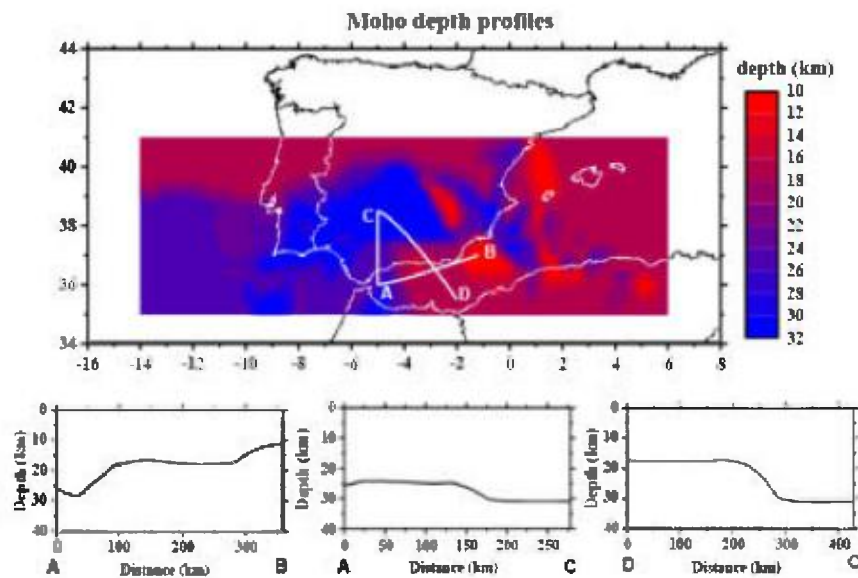


Fig. 13. (a) Moho depth mapping obtained from the shear velocity grids plotted in Figure 12. (b) Vertical cut of the Moho discontinuity from A to B, along the path plotted in Figure 13a. (c) Vertical cut of the Moho discontinuity from A to C. (d) Vertical cut of the Moho discontinuity from D to C.

REFERENCES

- Aki K. & P. G. Richards. 1980. *Quantitative Seismology. Theory and methods*. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Badal, J., V. Corchete, G. Payo, J. A. Canas, L. Pujades & F. J. Serón. 1990. *Processing and inversion of long-period surface-wave data collected in the Iberian Peninsula*. *Geophys. J. Int.*, 100, 193-202.
- Badal, J., V. Corchete, G. Payo, F. J. Serón, J. A. Canas & L. Pujades. 1992. *Deep structure of the Iberian Peninsula determined by Rayleigh wave velocity dispersion*. *Geophys. J. Int.*, 108, 71-88.
- Badal, J., V. Corchete, G. Payo, L. Pujades & J. A. Canas. 1996. *Imaging of Shear-wave velocity structure beneath Iberia*. *Geophys. J. Int.*, 124, 591-611.
- Cara, M., 1973. *Filtering dispersed wavetrains*. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 33, 65-80.
- Chourak M., Badal J., Corchete V. and Serón F. J., 2001. *A survey of the shallow structure beneath the Alboran Sea using Rg-waves and 3D imaging*. *Tectonophysics*, 335, 255-273.
- Chourak, M., V. Corchete, J. Badal, F. J. Serón & F. Soria. 2003. *Imaging of the Near-Surface Shear-Wave Velocity Structure of the Granada Basin (Southern Spain)*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, No. 1, 430-442.
- Corchete, V., J. Badal, G. Payo & F. Serón. 1989. *Filtering of dispersed seismic waves*. *Rev. De Geofísica*, 45, 39-58.
- Corchete, V., J. Badal, L. Pujades & J. A. Canas. 1993. *Shear velocity structure beneath the Iberian Massif from broadband Rayleigh wave data*. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 79, 349-365.
- Corchete, V., J. Badal, F. J. Serón & A. Soria. 1995. *Tomographic images of the Iberian subcrustal lithosphere and asthenosphere*. *Journal of Geophysical Research*, 100, pp. 24133-24146.

Davis, J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons Inc., Second Edition.

Dziiewonski, A., S. Bloch, & M. Landisman. 1969. *A technique for the analysis of transient seismic signals*. Bulletin of the Seismological Society of America, 59, No. 1, 427-444.

Navarro, M., V. Corchete, J. Badal, J. A. Canas, L. Pujades & F. Vidal. 1997. *Inversion of Rg Waveforms Recorded in Southern Spain*. Bulletin of the Seismological Society of America, 87, No. 4, pp. 847-865.

Payo, G. 1965. *Iberian Peninsula crustal structure from surface waves dispersion*. Bull. seism. Soc. Am., 55, 727.

Tarantola, A. 1987. *Inverse problem theory. Methods for data fitting and model parameter estimation*. Elsevier, Amsterdam.

ACKNOWLEDGEMENTS

Author is grateful to the geophysical observatories located at Toledo (TOL), Málaga (MAL) and Ebro (EBR); whose have provided the data used for this research. This research was partially supported by the Dirección General de Investigación, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Spain, Project BTE2003-00974 (financed with FEDER funds).

Recibido mayo de 2004, aceptado diciembre de 2005.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA BAHÍA DE PANAMÁ

¹J. A. Gómez H., ²M. V. Fuentes H., ³O. Leone, ¹C. A. Vega

¹Universidad de Panamá. Departamento de Biología Marina y Limnología.

e-mail: juanay@hotmail.com

²Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Departamento de Bioanálisis, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela. e-mail: myfuentes@cautv.net

³Universidad de Panamá. CTEN, Laboratorio de absorción atómica.

e-mail: orlandoleone2002@yahoo.com

RESUMEN

Se cuantificó de manera puntual la composición porcentual de cada textura granulométrica así como los parámetros estadísticos texturales y los niveles de concentración de metales (Cu, Cd, Zn y Pb) en los sedimentos superficiales de 15 puntos de colecta de la Bahía de Panamá. Los resultados indican que la textura predominante es la arenosa, siendo las fracciones abundantes la arena fina (AF) > arena media (AM) > arena gruesa (AG). No se encontró uniformidad en el tamaño de grano en los distintos depósitos sedimentarios. El 58.3% de los sedimentos son mal clasificados y el 41.7% muy mal clasificados. Se diferenciaron sedimentos leptokúrticos (Costa del Este, Rampa, Naos), muy leptokúrticos (Santo Tomás), extremadamente leptokúrticos (Panamá Vieja) mesokúrticos (Matasmillo). Los porcentajes de materia orgánica en la Bahía de Panamá resultaron bajos, entre 0.13 y 1.23%. Las concentraciones de Cu variaron desde 17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ hasta 45 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El Cd mostró concentraciones que oscilaron entre 0.13 a 0.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, cuyo El contenido de Zn fluctuó entre 27 y 73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El Pb varió entre 19 y 433 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Los metales no mostraron correlación significativa con la materia orgánica, excepto el Cd ($r = 0.40$). En general la distribución de la materia orgánica no condicionó la distribución de los metales traza en los sedimentos superficiales de la Bahía. Los metales trazas se acumularon preferiblemente en sedimentos finos, menores de 125 μm (>3 Φ). Existen claras evidencias que el ecosistema se encuentra muy impactado por Pb.

PALABRAS CLAVES

Sedimentos, leptokúrticos, mesokúrticos, materia orgánica, metales pesados.

Tecnociencia, Vol. 8, Nº 1

113

ABSTRACT

The percentage composition of each grain texture was precisely quantified as well as the texturales statistical parameters and the levels of metal concentration (Cu, Cd, Zn and Pb) in superficial sediments of 15 points of collect of the Bay of Panama. The results indicate that the predominant texture is the sandy one, being the abundant fractions the fine sand (FS) > average sand (AS) > heavy sand (HS). Was not uniformity in the size of grain in the different sedimentary deposits. The 58,3% of sediments are badly classified and the 41,7% very badly classified. They were differentiate the sediments leptokurtics (Coast of the East, Incline, Naos), very leptokurtics (Santo Tomás), extremely leptokurtics (Old Panama) and mesokurtics (Matasnillo). The percentage of organic matter in the Bay of Panama were low, between 0.13 and 1.23%. The concentrations of Cu varied from 17 to 45 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The Cd showed concentrations that oscillated between 0.13 to 0.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, the content of Zn fluctuated between 27 and 73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The Pb varied between 19 and 433 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The metals did not show significant correlation with the organic matter, except the Cd ($r = 0.40$). In general the distribution of the organic matter did not condition the distribution of the trace metals in superficial sediments of the Bay. The trace metals were accumulated preferably in fine, smaller sediments of 125 μm ($> 3\Phi$). Clear evidences exist that the ecosystem is impacted by Pb.

KEYWORDS

Sediment, leptokurtics, mesokurtics, organic matter, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas costeros, el incremento de las actividades suburbanas, urbanas e industriales asociadas con refinerías petroleras, puertos, tráfico marítimo, procesos de deforestación, agricultura, erosión de la capa superior del suelo, fertilizantes y agroquímicos agregan contaminantes, como los metales pesados, al ambiente marino. Su destino es de extrema importancia debido a que pueden modificar los procesos bioquímicos naturales, el funcionamiento de ecosistemas muy productivos e impactar al ecosistema (Rubio et al., 1995; Ponce et al., 2000).

Ellos pueden dar lugar a fenómenos de toxicidad, aún en concentraciones muy bajas, lo que afectaría al desarrollo y vida de los organismos y consecuentemente a la cadena alimentaria. Generalmente, los metales transportados a los ecosistemas costeros se fijan fácilmente sobre el material particulado, lo que hace que su destino principal sean los sedimentos costeros. Por ello, los sedimentos son un almacén altamente concentrado de metales, con

concentraciones superiores a las aguas adyacentes. Una vez que los metales son incorporados a los sedimentos costeros, el cambio en las condiciones redox del medio y los procesos de redistribución de los metales en las distintas fases del sedimento afectan a su biodisponibilidad y por lo tanto, a la calidad ambiental del sistema, de tal manera, la medición de la concentración de cada especie química en los sedimentos superficiales proporciona información sobre su comportamiento geoquímico, biodisponibilidad y/o toxicidad e indica si la presencia de metales pesados, en el ambiente, es una contribución natural procedente de la corteza terrestre o existen aportes contaminantes generados por las actividades humanas (Lewis & Landing 1992; García -Montelongo et al., 1994; Balls et al., 1997; Ponce et al., 2000; Williamson & Morrissey 2000; Codina & Pérez 2001; Martínez & Senior 2002; Durán et al., 2004).

Rubio et al (1995) señala que el tamaño de grano es uno de los factores principales factores que controlan la distribución y enriquecimiento de metales pesados. A su vez, este parámetro es una herramienta esencial para conocer la composición del sedimento, procedencia de las partículas, las condiciones de transporte y deposición y clasificar los ambientes sedimentarios, ya que proporciona bases estadísticas muy robustas que permiten comparar sedimentos de composición granulométrica muy variable mediante la media, mediana, sorteo, asimetría y otros cálculos estadísticos, tanto aritméticos como geométricos (Blott & Pye 2001).

Es necesario conocer las concentraciones y distribución de los metales pesados para tener una idea del origen de la contaminación, poder concluir sobre los efectos antrópicos, a largo plazo, y manejarlos adecuadamente. De esta manera, las formas químicas de los metales predicen su comportamiento geoquímico y el posible efecto sobre los organismos y la salud de los humanos, quienes los incorporan en la dieta (Fuentes 1999). La importancia del efecto contaminante de los metales pesados, particularmente en el sedimento de textura fina, ha sido reconocida, por ser el principal sumidero de éstos, además de la materia orgánica, pudiendo actuar como fuente cuando las condiciones del ambiente cambian. En ese sentido la materia orgánica puede variar marcadamente en periodos secos y lluviosos, pero con mayor concentración en la temporada lluviosa y va a estar asociada directamente con los granos de sedimentos finos, sedimentos limo-arcilla. Estudios realizados en el año 2000 en un sector de la Bahía

de Panamá para la creación de las islas Punta Pacífica, indican que la mayor fuente de contaminación de la Bahía de Panamá es la descarga de aguas residuales y desechos sólidos arrojados por la población a los ríos y costas, la cual representan el 30% de la contaminación (ANAM 2004). El estudio no reporta concentraciones de metales en sedimento, pero sí para 18 especies de peces, cuyas concentraciones estuvieron por debajo de los estándares internacionales. En este sentido, el objetivo de esta investigación es evaluar la composición porcentual de cada textura granulométrica, los parámetros estadísticos texturales y los niveles de concentración de metales (Cu, Cd, Zn y Pb) en los sedimentos superficiales de 12 puntos de colecta de la Bahía de Panamá para establecer comparaciones posteriores, de manera que se pueda ejercer un adecuado manejo ambiental de las descargas de manera que se minimicen los efectos antrópicos.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó a lo largo de la zona costera de la Bahía de Panamá, entre 9° 00' latitud norte y 79° 30' longitud oeste. (Fig. 1) donde se establecieron 12 estaciones de colectas. El fenómeno de afloramiento producido durante la temporada de verano le confiere a esta área gran importancia para las pesquerías.



Fig 1. Mapa de localización de los puntos de colectas.

Gómez, J. A. y colaboradores

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 12 estaciones de colecta a lo largo de la zona costera de la Bahía de Panamá. En cada estación se tomaron cuatro muestras de sedimento superficiales con una draga Petersen de 0.025m^2 , obteniéndose de cada dragado aproximadamente $2.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de sedimento. Se pesaron 100g de muestra seca, las fracciones más gruesas (grava y arena) se separaron del material más fino ($>4\phi$, limo y arcilla), usando tamices mayores de $63 \mu\text{m}$, en un equipo Ro-Tap con columna Tyler (Krumbein 1936^a, 1964^b, Wenworth 1936). Las fracciones obtenidas se pesaron y expresaron como porcentaje de la muestra original. Estos valores se usaron para determinar los grupos texturales de acuerdo al triángulo de Shepard (1973) y para construir las curvas semilogarítmicas de los porcentajes de peso acumulado, en una ordenada aritmética, frente al diámetro en una abscisa logarítmica, en unidades ϕ .

De estas curvas se extrajeron los parámetros granulométricos: media (M_z), mediana (M_d), asimetría (SK_q), clasificación (O_1), agudeza y Kurtosis (Folk & Ward 1957), los cuales fueron interpretados según Inman (1952), Tanner (1964) y Folk (1966) y los aportes de Martínez (1986), Llano (1987), Anfuso et al., (1999), Parrado Román & Achab (1999), Breslin & Sañudo-Wilhelmy (1999), Johannesson et al., (2000), Blou & Pye (2001), Hung & Hsu (2004).

El contenido de materia orgánica se determinó en 250 g de sedimento, secados en un horno Lab Line Imperial II a 80°C por 48 horas a peso constante. 10 g de muestra seca fueron incinerados a 550°C por 2 horas en una Mufla Termolyne 1300.

En muestras liofilizadas se analizaron los metales trazas, siguiendo la metodología descrita por Carmody et al. (1973). 1g de sedimento se sometió a digestión hasta casi sequedad con ácido nítrico concentrado, se le adicionaron 2 mL de peróxido de hidrógeno, se filtró con papel Watman N° 40 y completó a un volumen de 25 mL. Tanto las soluciones patrones como las de las muestras fueron medidas en un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) SHIMADZU, especificación AA-6800 de doble haz, llama de aire-acetileno, corrector de fondo de deuterio y automuestreador, usando las longitudes de onda características de cada metal. La precisión del

análisis fue de 1% y la exactitud se evaluó utilizando una muestra estándar certificada de sedimento de Environmental Resource Associates. Los errores totales fueron menores de 10%. Los blancos fueron determinados con cada conjunto de muestras y estuvieron por debajo del 1% de los valores de las muestras. Los límites de detección por metal en el sedimento fueron: Cu ($0.70\mu\text{g.g}^{-1}$), Cd ($0.1\mu\text{g.g}^{-1}$), Zn ($0.30\mu\text{g.g}^{-1}$), Pb ($12.5\mu\text{g.g}^{-1}$). A partir de los resultados se obtuvieron los coeficiente de correlación de Pearson (Systat 7.0; $p < 0.05$).

RESULTADOS

Sedimentos

Los resultados de la composición porcentual de cada textura granulométrica por estación (Fig. 2, Cuadro 1) indican que la textura predominante es la arenosa, característica de ambientes con alta energía cinética, donde el grano muy pequeño se mantiene suspendido. En general, las fracciones arenosas más abundantes fueron arena fina (AF) > arena media (AM) > arena gruesa (AG).

Cuadro 1. Análisis textural, clasificación de los sedimentos, materia orgánica (MO) y metales.

ESTACIONES	ARENA %	AMG %	AC %	AM %	AF %	AMELIMO %	ARCILLA %	TEXTURA DEL SEDIMENTO	MO %	Cu $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Zn $\mu\text{g/g}$	Pb $\mu\text{g/g}$	Referencia
1 Costa del Este	89,70	7,80	4,20	28,00	30,40	19,30	10,30	arenoso	1,23	17	0,13	27	19	
2 Puntón Viejo (1)	90,70	4,31	4,79	25,30	55,40	8,85	1,31	arenoso	0,56	30	0,13	44	41	
3 Puntón Viejo (2)	91,50	6,00	6,26	24,90	35,40	18,90	8,51	arenoso	0,47	17	0,17	45	35	
4 Punta Pacifico	90,80	56,00	18,80	9,16	5,74	1,08	9,19	arenoso	0,48	13	0,13	38	60	
5 Rincón	98,40	35,00	48,10	13,90	1,15	0,29	1,60	arenoso	0,16	35	nd	38	46	
6 Matanzillo	94,70	12,50	23,30	18,90	15,00	4,51	5,72	arenoso	0,51	11	nd	62	147	
7 Saco Totala	98,80	3,59	15,70	45,20	33,20	1,08	1,33	arenoso	0,45	13	0,25	36	140	
8 Mercado Público	95,50	3,65	4,97	13,70	41,60	12,00	4,06	arenoso	0,88	130	0,58	75	433	
9 Bóveda	90,50	24,80	15,50	48,80	8,84	0,41	3,53	arenoso	0,21	21	0,17	50	128	
10 Barracas	98,10	17,50	14,00	23,30	38,40	3,84	1,94	grupos	0,21	25	0,13	54	71	
11 Naca	99,00	38,00	40,50	10,20	1,60	0,06	2,04	arenoso	0,13	43	0,13	61	209	
12 Playita	98,40	47,20	29,80	18,70	2,33	0,58	1,53	grupos	0,13	40	0,13	46	120	
AMG arena muy gruesa								Sedimentos prístinos	10	1				Sadiq (1992)
AM arena gruesa								Cortiza terrestre	25			65	15	Wiederholm (1995)
AMG arena media								Bahía de Cádiz	5	0,18 - 0,23		119 - 230	54,8-89,66	Ponce et al. (2000)
AM arena fina								Muelle Port Jefferson	0,1 - 80			14,3 - 191	3,8-18,8	Breath & Salgado & Whelton (1999)
AMF arena muy fina														

Cuadro 2. Parámetros de relación e interpretación textual

Est	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	Q30	Q31	Q32	Q33	Q34	Q35	Q36	Q37	Q38	Q39	Q40	Q41	Q42	Q43	Q44	Q45	Q46	Q47	Q48	Q49	Q50	Q51	Q52	Q53	Q54	Q55	Q56	Q57	Q58	Q59	Q60	Q61	Q62	Q63	Q64	Q65	Q66	Q67	Q68	Q69	Q70	Q71	Q72	Q73	Q74	Q75	Q76	Q77	Q78	Q79	Q80	Q81	Q82	Q83	Q84	Q85	Q86	Q87	Q88	Q89	Q90	Q91	Q92	Q93	Q94	Q95	Q96	Q97	Q98	Q99	Q100
1 Puntos Viejo (B)	0.122	1.122	1.737	2.184	2.184	3.042	3.042	2.184	3.810	1.380	0.304	1.270	not classified	MATF very high	logística o aguda																																																																																	
2 Puntos Viejo (C)	0.152	1.474	2.058	2.058	2.473	2.136	3.473	2.058	3.680	0.544	0.397	1.280	not classified	MATF high	colorectal o aguda																																																																																	
3 Puntos Viejo (D)	0.152	1.217	1.322	2.132	3.795	3.836	4.911	2.132	3.810	1.240	0.494	1.040	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
4 Puntos Viejo (E)	0.142	2.152	2.000	1.308	1.080	1.122	3.858	1.300	0.706	3.380	0.256	1.026	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
5 Rango	-0.620	-3.000	-1.140	0.313	0.889	1.040	2.900	0.313	3.310	1.832	-0.370	1.852	not classified	MATF very high	logística o aguda																																																																																	
6 Rango	-0.320	-2.838	-0.786	0.884	1.990	1.840	2.400	0.884	0.612	2.180	-0.478	1.018	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
7 Rango	0.757	1.128	1.320	2.080	2.400	2.640	3.478	2.080	2.030	0.488	0.433	2.730	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
8 Rango	0.322	1.560	2.126	2.748	3.320	3.640	3.878	2.740	1.320	1.478	0.148	1.258	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
9 Rango	-0.640	-1.000	0.020	1.000	1.120	1.840	1.800	1.800	2.770	1.820	-0.047	2.080	not classified	CS index	colorectal o aguda																																																																																	
10 Rango	-2.810	-2.360	0.556	1.844	2.328	2.478	3.320	1.840	2.380	2.210	-0.108	1.340	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	
11 Rango	-0.640	-3.580	-1.580	0.690	0.943	1.840	1.290	0.890	1.190	2.308	-0.420	1.290	not classified	MATF very high	logística o aguda																																																																																	
12 Rango	-0.640	-4.320	-2.880	0.172	0.837	0.737	1.890	0.172	3.280	2.380	-0.673	1.080	not classified	MATF very high	colorectal o aguda																																																																																	

La mediana (Md) calculada permitió ordenar de manera creciente la energía cinética media (ECM) del ambiente sedimentario de la siguiente manera: Mercado Público < Costa del Este < Panamá Viejo (2) < Santo Tomás, Panamá Viejo (1) < Barrazas < Punta Pacífica < Bóvedas < Matasnillo < Naos < Rampa < Playita. De manera similar, la media aritmética (Mz) que representa el centro de gravedad de la distribuciones y traduce la energías cinética del ambiente sedimentario, las ordenó como sigue: Costa del Este, Panamá Viejo (1), Panamá Viejo (2), Rampa, Naos, Playita < Santo Tomás, Barrazas, Bóvedas < Punta Pacífico, Mercado Público, Matasnillo (Cuadro 2).

La comparación de la posición de la Mz respecto a la Md define la asimetría (Skq) de estos sedimentos (Cuadro 2). Esta disimetría define los sedimentos de Costa del Este, Panamá Viejo (1), Panamá Viejo (2) y Punta Pacífico como muy asimétricos hacia el tamaño fino (MATF) por contener abundantes arenas medias y finas. Sin embargo, los sedimentos de Rampa, Matasnillo, Santo Tomás Barrazas, Naos y Playita, los identifica como muy asimétricos hacia el tamaño grueso (MATG) por la predominancia de las arenas gruesa y media. Las asimetrías negativas de los sedimentos de Barrazas, Bóvedas, Matasnillo, Naos, Rampa y Playita son características de playas intermareales (Parrado & Achab 1999).

No existe uniformidad en el tamaño de grano en los distintos depósitos sedimentarios, el 58.3% de los sedimentos son mal clasificados y el 41.7% muy mal clasificados, predominando en un 60% las oscilaciones de energía cinética media (ECM) muy altas en sedimentos muy asimétricos hacia el tamaño grueso (MATG), bajas (7%) en sedimentos muy asimétricos hacia el tamaño fino (MATF), muy bajas (26%) en sedimentos asimétricos hacia el tamaño fino y nulas (7 %) en sedimentos casi simétricos.

La kurtosis o agudeza gráfica (Fig. 2, Cuadro 2) se interpreta como la relación entre la clasificación de la zona central (50%) y colas (95%) de la distribución y diferencia sedimentos leptokúrticos (Costa del Este, Rampa, Naos), muy leptokúrticos (Santo Tomás), extremadamente leptokúrticos (Panamá Viejo) y mesokúrticos (Matasnillo).

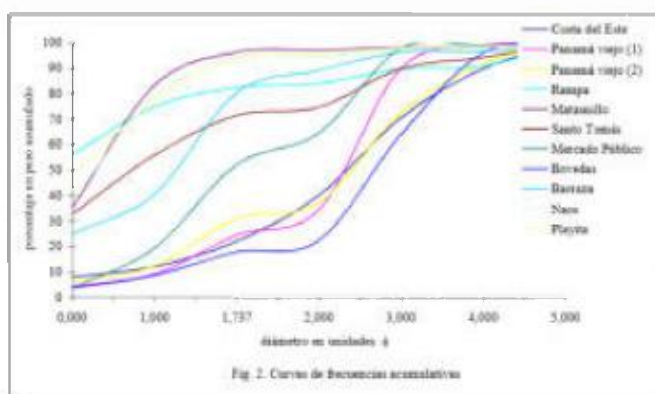


Fig. 2. Curvas de frecuencias acumulativas

Materia orgánica

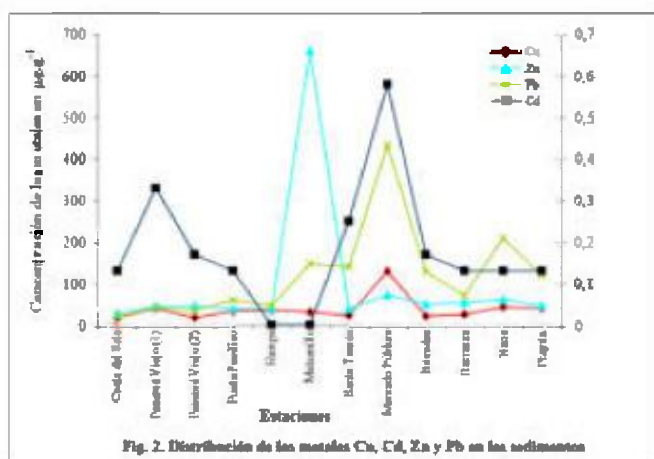
Los porcentajes de materia orgánica en la Bahía de Panamá resultaron bajos, entre 0,13 y 1,23%, valores típicos de sedimentos arenosos, ambientes hidrodinámicos y abiertos (Cuadro 1). Los porcentajes más altos se encontraron en Costa del Este (1,23%) y Mercado Público (0,88%), concentraciones aproximadamente dos veces más bajas se registraron en Panamá Viejo, Punta Pacífico, Matasnillo, Santo Tomás (0,45-0,56%), y cuatro veces menores en Rampa, Bóvedas, Barrazas, Naos y Playita (0,13-0,21%). Esta acumulación de materia orgánica covarió positiva y significativamente con las texturas granulométricas arena fina, arena muy fina y limo- arcilla ($r > 0,50$, Cuadro 3); sin embargo, la covarianza con las fracciones de arena más gruesa fue negativa ($r < -0,50$).

Metales pesados

Cu

El Cu manifestó un comportamiento uniforme con concentraciones que variaron desde $17 \mu\text{g.g}^{-1}$ hasta $43 \mu\text{g.g}^{-1}$, sin embargo en los sedimentos del área costera del mercado Público el contenido de Cu resultó muy elevado ($129 \mu\text{g.g}^{-1}$). Estas concentraciones superan a $25 \mu\text{g.g}^{-1}$, informado por Wedepohl (1995) en la corteza terrestre; pero están incluidas en el intervalo de 0.1 a $86 \mu\text{g.g}^{-1}$ reportado para los

sedimentos de Port Jefferson Harbor (Breslin & Sañudo – Whithelmy 1999), excepto en los sedimentos del Mercado que sobrepasan el valor de $10 \mu\text{g.g}^{-1}$ considerado por Sadiq (1992) como normal en sedimentos prístinos (Cuadro 1, Fig. 3).



Cd

El Cd mostró concentraciones desde 0.13 a 0.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, excepto en los sedimentos costeros de la Rampa y Matasnillo (Cuadro 1, Fig. 3, escala secundaria). A pesar de eso, el valor es menor al de 1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ registrado por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados, lo que señala que a pesar de que existe un aporte contaminante, este no ha alcanzado un nivel crítico.

Zn

En la Fig. 3 se representa la distribución horizontal del Zn, cuyo contenido fluctuó entre 27 y 73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Cuadro 1). Este último valor rompe la uniformidad de la distribución y coincide con los máximos de Cu y Cd en los sedimentos de la zona costera que colinda con el Mercado Público. Cabe resaltar que en la mayoría de las localidades, las concentraciones de Zn estuvieron por debajo de 65 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

reportado para la corteza terrestre, sin embargo todas están incluidas dentro de los rangos encontrados en la Bahía de Cádiz y en el área de Port Jefferson (Wedepohl 1995; Breslin & Sañudo-Wilhemý 1999; Ponce et al., 2000).

Pb

Este metal fue detectado en todas las localidades estudiadas y sus concentraciones variaron entre 19 (Costa del Este) y 433 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Mercado Público). En la Fig. 3 se resalta el aumento de las concentraciones desde Matasnillo hasta Naos (140 - 433 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Las concentraciones superan el valor de 5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ considerado por Sadiq (1992) como la concentración natural de los sedimentos; al rango 34,4 a 69,66 $\mu\text{g.g}^{-1}$ informado para los sedimentos de la Bahía de Cádiz, analizada por Ponce et al. (2000), la cual fue catalogada como poco contaminada y a los valores del Muelle de Port Jefferson reportado por Breslin & Sañudo-Wilhemý (1999) como contenido de niveles de metales comunes a las encontradas en áreas costeras protegidas.

En general, se encontró que todos los metales fueron afines ($0,42 < r < 0,67$) con la fracción granulométrica de arena muy fina (AMF). Además el Cu se relacionó directamente con arenas medias, Cd, Zn y Pb ($r > 0,40$); Cd con arenas muy gruesas, gruesas, finas, Zn y Pb ($r > 0,45$); y el Zn con la fracción menor de 63 μm y Pb ($r > 0,60$). Excepto el Cd ($r = 0,40$), los metales no mostraron correlación significativa con la materia orgánica (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de correlación de Pearson

	AMG	AG	AN	AF	AMF	Linea y Arellito	Cu	Cd	Zn	Pb	MO
AMG	1,00										
AG	0,69	1,00									
AN	0,67	0,37	1,00								
AF	0,66	0,19	0,19	1,00							
AMF	0,63	0,62	0,16	0,8	1,00						
Linea y Arellito	0,01	0,43	0,16	0,01	0,42	1,00					
Cu	0,13	0,12	0,42	0,2	0,60	0,17	1,00				
Cd	0,11	0,66	0,12	0,36	0,67	0,21	0,76	1,00			
Zn	0,14	0,10	-0,40	0,20	0,60	0,60	0,87	0,86	1,00		
Pb	0,21	0,06	0,13	0,06	0,43	-0,36	0,33	0,67	0,88	1,00	
MO	-0,11	-0,48	-0,01	0,13	0,16	0,61	0,33	0,6	0,17	0,15	1,00

DISCUSIÓN

La distribución de las partículas finas está controlada por la batometría, los patrones de circulación, las corrientes de marea y el tráfico marino. La presencia de material más grueso puede ser el resultado de operaciones de dragado, construcción y/o procesos naturales como la exposición de la costa a fuertes vientos (Breslin & Sañudo-Wilhelmy 1999; Johannesson et al., 2000; Romano et al., 2004).

La predominancia de sedimentos arenosos medios, finos y muy finos es propia de ambientes marinos que poseen variaciones de energía cinética media (ECM) suficientemente altas para arrastrar el material más fino y permitir la deposición del grueso, excepto cuando hay un cambio de dirección. Esta interpretación concuerda con la mediana (Md) calculada de las muestras recolectadas.

Martínez (1986) señala que la mala y muy mala clasificación de los sedimentos puede deberse a que las frecuencias significativas no corresponden a diámetros próximos entre sí, lo que implica que existen separaciones largas entre pares de percentiles y fluctuaciones amplias de energía cinética en el ambiente. En este sentido, puede decirse que la mala y muy mala clasificación de los sedimentos es debida a la presencia de solo tres o cuatro de las fracciones granulométricas (grava, arena, limo, arcilla) con categorías muy particulares.

Los comportamientos leptokúrticos, muy leptokúrticos y extremadamente leptokúrticos muestran un proceso de acumulación libre y la deposición de granos de tamaño muy próximos entre los valores externos centrales (50 – 90%) debida a una situación prolongada de energía cinética media que permite la deposición de esos detritos con una buena clasificación. Con una predominancia de arenas finas, la curva angulosa significa que hay, en el ambiente sedimentario, una energía cinética media baja, durante un tiempo superior al normal, que afecta las frecuencias centrales. Si por el contrario, predominan las arenas gruesas, la curva traduce que lo que dura ahora un tiempo superior al normal, es una energía cinética media alta (Martínez 1986).

El comportamiento mesokúrtico o normal se interpreta como ausencia de oscilaciones de ECM en la región central de la distribución, provocando una buena clasificación.

La data de materia orgánica en la Bahía de Panamá refleja aportes de sustancias de suelos húmicos superficiales acarreadas en las aguas de ríos, tributarios y esorrentías, y aportes antropogénicos, los cuales son más influyentes en Costa del Este y en el área costera del Mercado Público. Este material es adsorbido en las fracciones granulométricas más finas y escasamente asociado a la presencia de metales Cu, Cd, Pb y Zn, probablemente por provenir de fuentes distintas. Esta adsorción sugiere que la dispersión de los sedimentos, en la costa, ejerce un control primario en la deposición de la materia orgánica sedimentada en las márgenes influenciadas por los ríos via asociación materia orgánica – mineral.

En este sentido, muchos investigadores señalan que, en los sistemas oceánicos abiertos, como la Bahía de Panamá, las entradas de materia orgánica son dominadas por el fitoplancton. No obstante, la materia orgánica erosionada de los ecosistemas terrestres es la principal fuente en las márgenes costeras e interactúa con partículas minerales. El alcance de estas interacciones aumenta con la disminución del tamaño de la partícula, en respuesta al incremento del área de la superficie del mineral reactivo y la presencia de cationes multivalentes en complejos intercambios catiónicos y varios óxidos e hidróxidos. Estas partículas muy pequeñas o finas pueden ser clásticas y/o biogénicas, arcillas, óxidos y oxihidróxidos de hierro y aluminio, etc. (Bladock et al., 2004; Benner 2004; Gordon & Goñi 2004). Ishiwatari (1992) afirma que los componentes mayoritarios de la materia orgánica son sustancias húmicas, cuya floculación causa cambios significativos en el comportamiento bioquímico de otras sustancias químicas, como los metales y controlan la transferencia bioquímica y la bioaccesibilidad de contaminantes orgánicos.

Los sedimentos marinos son sumideros de metales, transportados por ríos u otras corrientes de agua, liberados por meteorización o por las actividades humanas en el ecosistema terrestre. Su distribución depende de las condiciones hidrodinámicas de la cuenca sedimentaria, de las características de las partículas minerales y de la cantidad de materia orgánica acumulada o transportada (Bladock et al., 2004; Hung & Hsu 2004). Su contaminación es un asunto muy serio de considerar debido a que muchos químicos tóxicos se enlazan a los sedimentos y pueden permanecer en ellos por largos periodos de tiempo. Los análisis químicos pueden indicar la cantidad de

contaminantes químicos específicos pero no puede indicar el daño a la biota, a su sobrevivencia o en sus funciones fisiológicas normales (Weis et al., 2004).

En este estudio, las correlaciones positivas ($p < 0,001$) entre las concentraciones de metales, entre ellos y el carácter más fino de los sedimentos (AMF) refleja la tendencia la influencia que ejerce el tamaño del grano sedimentario en la distribución espacial de los metales y la materia orgánica en los sedimentos superficiales (Alvarez & Rubio 2000; Hung & Hsu 2004).

Breslin & Sañudo – Wilhelmy (1999) relacionaron la contribución del Cu y Zn en Port Jefferson Harbor con sistemas de enfriamiento de muelles como resultado de la erosión y corrosión de las aleaciones de Cu-Ni-Zn de los tubos de los condensadores del sistema de enfriamiento. Igualmente, explican que las actividades de mantenimiento y reparación de embarcaciones como las pinturas antifouling y de protección catódica han sido identificadas previamente como fuentes de Cu y Zn, en estuarios y puertos. Además, el preservativo de maderas arseniato de cobre cromado usado para la construcción de muelles y evitar el deterioro de la madera por hongos y horadores marinos es una fuente adicional de Cu y Cr. Ponce et al. (2000) encontraron niveles elevados de Zn y Cu en áreas de Bahía de Cádiz próximas a industrias relacionadas con la construcción naval. Situaciones semejantes podrían estar ocurriendo en el área analizada, corroborado por las fuertes correlaciones mostradas por el Cu y Zn. Sin embargo, es preocupante la situación del área del Mercado Público altamente impactada por los desechos industriales y domésticos que descargan al ecosistema, y que se acumulan favorablemente en las arenas finas y muy finas. Hung & Hsu (2004) señalan que los patrones de sedimentación de los diferentes metales dependen de la abundancia o riqueza de las fuentes terrestres, la diferente especiación sólida, la distinta respuesta al incremento de salinidad, y/o la bioaccesibilidad diferencial y la caída de la partícula desde la columna de agua.

Las correlaciones positivas y significativas Pb-Cu, Pb-Zn, probablemente, indican que tales elementos traza constituyen fracciones de un mismo material químico que afecta el ecosistema.

Mac Donald et al. (1991) señalaron que fuertes asociaciones Zn-Cu-Pb son indicios de aportes producto de las actividades del hombre.

Hung & Hsu (2004) informan que la fuente de Pb más importante parece ser el aporte a la atmósfera de residuos de combustible (tráfico rodado y flotante) y la liberación de aguas de desecho al ambiente. Este metal, altamente tóxico, verificó su acumulación en sedimentos finos (Alvarez et al., 2000).

La calificación del ecosistema referente a la contaminación es difícil, debido a la diversidad de criterios señalados en la literatura; sin embargo, considerando los registros para algunas áreas geográficas (Sadiq 1992; Wedepohl, 1995; Breslin & Sañudo - Wilhelmy 1999; Ponce et al., 2000; Hung & Hsu 2004), las concentraciones obtenidas en la investigación se puede deducir que además de la influencia litológica, existen aportes antropogénicos evidentes. Todo esto permite indicar que el ecosistema actualmente está en una situación intermedia entre un sistema no contaminado y de contaminación moderada. Para el cadmio y el plomo la situación es diferente debido a que gran parte de los puntos de colecta presentan concentraciones preocupantes. Los bajos niveles registrados en el resto de los metales no deberían tener grandes efectos en el ambiente marino- costero panameño; debido a que el país no cuenta con un desarrollo minero y no existe industria metalúrgica pesada. Sin embargo, se han reportado concentraciones de cadmio que oscilan entre 0.030 y 0.038 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en moluscos, concentraciones de 0.03 a 16.0 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en crustáceos. En peces se han encontrado valores de concentración de mercurio por el orden de 0.10 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y de cadmio 0.03 a 0.40 $\mu\text{g.g}^{-1}$. (ANAM 2004). En ese sentido los recursos pesqueros en la Bahía de Panamá se pueden ver afectados por la calidad del agua y los sedimentos, lo que sugiere realizar estudios en matrices de tejido animal y agua en los mismos puntos de colecta.

CONCLUSIONES

Los sedimentos de la Bahía de Panamá son arenosos. Todos ellos mal y muy mal clasificados. Existen fuertes turbulencias con fluctuaciones amplias de energía cinética media. La acumulación en la zona es forzada.

Las características batimétricas, hidrodinámicas y los procesos de sedimentación determinan la textura de los sedimentos y la distribución de la materia orgánica, sin embargo esta última no condicionó la distribución de los metales traza en los sedimentos superficiales de la Bahía.

Los metales traza se acumularon preferiblemente en sedimentos finos, menores de 125 μm ($>3\Phi$). El orden de acumulación fue $\text{Cd} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Pb}$, procedentes tanto de fuentes naturales como de fuentes ajenas. Las concentraciones de los metales mostraron la relación de cercanía existente entre la fuente antropogénica y las localidades afectadas. Estas fuentes son derivadas de las actividades portuarias, construcción naval, industriales y domésticas. El ecosistema está impactado preocupantemente por Pb.

REFERENCIAS

Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). 2004. Informe del estado del ambiente 100 pp.

Anfuso, G., M. Achab, G. Cultrone, & F. López-Aguayo. 1999. Utility of heavy minerals distribution and granulometric analyses in the study of coastal dynamics: Application to the litoral between Sanlúcar de Barrameda and Rota (Cadiz, southwest Iberian Peninsula). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15(1-4): 243-250.

Alvarez - Iglesias, Rubio, P. & F. Vilas. 2000. Plomo en sedimentos y organismos de la ensenada de San Simón. *Thalassas* 16: 81-94.

Baldock, J., C. Masiello, Y. Gélina & J. Hedges. 2004. Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. *Mar. Chem.* 92: 39-64.

Balls, P., S. Hull, B. Miller, J. Pirie & W. Proctor. 1997. Trace metal in Scottish estuarine and coastal sediments. *Mar. Pol. Bull.* 34(1): 42-50.

Benner, R. 2004. What happens to terrestrial organic matter in the ocean?. *Mar. Chem.* 92:307-310.

Breslin, V. & S. Sañudo-Wilhelmy. 1999. High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in Port Jefferson Harbor, New York. *Estuaries* 22(3a): 669 – 680.

Blott, S. & K. Pye. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth. Surf. Process. Landforms* 26: 1237-1248.

Carmody, O. J., B. Pearce & J. Yasso. 1973. Trace metals in sediments of New York Bight. *Mar. Poll. Bull.* 4:132-135.

Codina, J. & A. Pérez. 2001. Metales pesados como polucionantes tóxicos. *Enviro. Contam. Toxicol.* 25: 250-254.

Durán, I.L., M.V. Fuentes & J.A.Gómez H. 2004. Concentración de cadmio, plomo y cobre en *Anadara tuberculosa* del manglar de la Isla Taborcillo, Punta Chame, República de Panamá. *Tecnociencia*. Vol .6, N°2. 91-104.

Folk, R. 1966. A review of grain size parameters. *Sedimentology* 6:73-93.

Folk, R. & W. Ward. 1957. Brasos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.* 22 (3):125-145.

Fuentes, M.V. 1999. Metales trazas en los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuel. *Scientia*. Vol. 14, N°1, 97-116.

Garcia-Montelongo, F., C. Diaz, L. Galindo, M.S. Larrechi & X. Rius. 1994. Heavy metals in three fish species from the coastal waters of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands). *Scientia Marina* 58 (3) 179-183.

Gordon, E. & M. Goñi. 2004: Control on the distribution and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Alchafalaya river margin. *Mar. Chem.* 92: 331-352.

Hung, J. & C. Hsu. 2004. Present state and historical change of trace metal pollution in Kaoping coatal sediment southwestern, Taiwan. *Mar. Poll. Bull.* 49: 986-998.

Inman, D. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.* 22(1):13-26.

Ishiwatari, R. 1992. Macromolecular material (humic substance) in the water column and sediments. *Mar. Chem.* 39:151-166.

Johannesson, L., R. Stevens & J. Alexanderson. 2000. Sediment character in a microtidal, harbor-estuary environment, Göteborg, Sweden. *Estuaries* 23(3):400-410.

Krumbein, W. 1936^a. Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments. *J. Sed. Petrol.* 6 (1):35-37.

_____. 1964^b. Some remarks on the phi notation. *J. Sed. Petrol.* 34 (1):195-197.

Lewis, B. L. & W. M. Landing. 1992. The investigation of dissolved and suspended particulate trace metal fractionation in the Black Sea. *Mar. Chem.* 40: 105-141.

Llano, M. 1987. Dinámica sedimentaria de la laguna de Punta de Piedras I: época de mareas mínimas. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. XLVII (127-128): 37-75.

Macdonald, R., M. Macdonald, M. O'Brien & C. Gobeil. 1991. Accumulation of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cd), carbon and nitrogen in sediments from straight of Georgia, B. C., Canada. *Mar. Chem.* 34:109-135.

Martinez, J. 1986. Metodologías granulométricas. Seguimiento de playas. Universidad Politécnica de Las Palmas, Las Palmas, España. .1 - 58.

Martinez, G & W. Senior. 2002. Especiación de Cd, Zn, Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantin, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Interciencia*. Vol. 27 N° 4, 173-179.

Parrado, J. & M. Achab. 1999. Grain size trends associated with sediment transport patterns Cadiz Bay (southwest Iberian Peninsula). *Bol. Inst. Esp. Oceanog.* 15(1-4): 169-282.

Ponce, R., J. Forja & A. Gómez – Parra. 2000. Influencia de la actividad antropogénica en la distribución vertical de la actividad antropogénica en la distribución vertical de Zn, Cd, Pb y Cu en agua intersticial y sedimentos marinos costeros (Bahía de Cádiz, SW de España). *Ciencias Marinas* 26(3): 479 – 502.

Rubio, B., M. Nombela, F. Vilas, J. Alejo, S. García-Gil, E. García-Gil, & O. Pazos. 1995. Distribución y enriquecimiento de metales pesados en sedimentos actuales de la parte interna de la ría de Pontevedra. *Thalassia* 11:35-45.

Sadiq, M. 1992. Toxic metal Chemistry in marine environments. Marcel Dekker, Inc. New York, 390 pp.

Shepard, F. 1973. Submarine geology. Third edition. Harper & Row, Publishers, Inc. 517 pp.

Tanner, W. 1964. Modification of sediment size distribution. *J. Sed. Petrol.* 34 (1):156- 164.

Wedepohl, K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59,1217 -1232.

Weis, J., J. Skurnick & P. Weis. 2004. Studies of a contaminated brackish marsh in the Hackensack Meadowlands of Northeastern New Jersey: benthic communities and metal contamination. *Mar. Poll. Bull.* 49: 1025-1035.

Wentworth, C. 1936. Discussion: The method of moments. *J. Sed. Petrol.* 6 (3):158-159.

Williamson, R. & D. Morrissey. 2000. Stormwater contamination of urban estuaries. Predicting the build up of heavy metals in sediments. *Estuaries* 23 (1): 46-66.

Recibida octubre de 2005, aceptado enero de 2006.



MÉTODOS GEOFÍSICOS DE CORRENTE CONTÍNUA NUM ESTUDO HIDROGEOLÓGICO EM CAPELLANÍA - REPÚBLICA DE PANAMÁ

¹Abel Carrasquilla y ²Alberto Caballero

¹LENEP/UENF - Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rodovia Amaral Peixoto, Km 164, Imboacica, CEP: 27.973-030, Macaé - RJ - Brasil. Telefax: +55-24-773-6565. email: abel@lenep.uenf.br

²DF/UPA -Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorio de Hidrogeología y Geofísica Aplicada-VIP, Universidad de Panamá.. Apartado 00063 / Zona 0824, Universidad de Panamá. Fone -223-9985. email: alberto@ancon.up.ac.pa; alcaba99@yahoo.com

RESUMO

Entre 1985 e 1987, o "Departamento de Fuentes Subterráneas" do "Instituto para Acueductos y Alcantarillados Nacionales" e o "Departamento de Física" da "Universidad de Panamá" utilizaram métodos geofísicos de corrente contínua (eletro-resistivo e potencial espontâneo), além de dados litológicos e hidráulicos obtidos em poços perfurados na área, num estudo hidrogeológico em Capellania, República de Panamá. Esta região se caracteriza por apresentar problemas no fornecimento de água potável à população, relacionados com a má qualidade das águas subterrâneas e a presença de uma estação seca prolongada, o que dificulta a perfuração de poços produtivos. Os objetivos deste estudo foram parametrizar o aquífero na área, detetar o relevo do embasamento resistivo e determinar alguns parâmetros hidrogeológicos, tais como a direção do fluxo subterrâneo de água, a condutividade e a transmissividade hidráulicas. Os resultados com o método eletro-resistivo revelam que os setores oeste e sudeste da área estudada, onde o embasamento cristalino é mais profundo e a camada aquífera é mais espessa, apresentam as melhores possibilidades para a perfuração de poços. As direções de fluxo indicadas pelo método SP e pelas condutividades/transmissividades hidráulicas, as quais foram obtidas a partir de parâmetros geoeletrônicos e testes hidráulicos em poços, comprovam que os setores antes mencionados são os mais favorecidos quanto à recarga do aquífero.

PALAVRAS – CHAVE

ABSTRACT

Between 1985 and 1987, the Groundwater Department of the National Institute of Sewerages and Aqueducts and the Physics Department of the University of Panama utilized direct current geophysical methods (resistivity and self potential), besides lithological and hydraulic data obtained on wells drilled in the area, to perform a hydrogeological study in Capellania, Republic of Panamá. This region has serious problems of water supply to populations, due to the bad quality of groundwater and the presence of a long dry season, which hinders the location of productive wells. The objectives of the study were to evaluate the aquifer in the area, to detect the bedrock relief and to determine some hydrogeological parameters, such as the direction of groundwater flow, hydraulic conductivity and transmissivity. The results with resistivity method show that in western and southeastern sectors of the studied area, where resistive basement is deeper and aquifer is thicker, present best conditions for successful wells. The flow directions inferred from self potential and hydraulic conductivities/transmissivities measurements, which were obtained from geoelectrical parameters and *in situ* well tests, verified that the mentioned areas are more favorable in terms to aquifer recharge. In the place where Capellania is located, although, it is not appropriated to drill wells, because the results indicated that in this place the bedrock is shallower, the aquifer is thinner and the groundwater flows away.

KEYWORDS

Geophysical methods, hydrogeology, Republic of Panama.

INTRODUÇÃO

O abastecimento de água potável em Capellania, localizada numa região da República de Panamá conhecida como "Arco Seco", a 200 km ao SW da Cidade do Panamá, se constitui num problema difícil, devido a que a principal fonte de água potável tem origem subterrânea (Fig. 1). Diversos motivos, tais como o crescimento populacional, a super - exploração dos poços na temporada seca de seis meses e a presença de pirita na litologia aquífera, que levam a salinização e a uma alta concentração de ferro nas águas subterrâneas, contribuem para que os reservatórios subterrâneos existentes não sejam suficientes para atender às necessidades mínimas da população.



Fig. 1. Localização da área de estudo.

Pensando nessa problemática, na década dos 80, o "Departamento Fuentes Subterráneas" do "Instituto de Acueductos y Alcantarrillados Nacionales" (DFS/IDAAN) e o "Departamento de Física" da "Universidad de Panamá" (DF/UP) utilizaram métodos geofísicos de corrente contínua (eletro-resistivo e potencial espontâneo), informações litológicas e dados hidráulicos de poços perfurados na região (Fig. 2). Todas as informações foram integradas e re-interpretadas neste artigo, correlacionando os dados geológicos de superfície, os registros litológicos, os testes hidráulicos de diversos poços e os dados geofísicos, com o objetivo de estimar parâmetros hidráulicos, encontrar as direções de fluxo subterrâneo de água, parametrizar as camadas aquíferas e determinar o relevo do embasamento cristalino. Finalmente, como resultado deste estudo, foi possível sugerir os locais mais convenientes para a realização perfurações.



Fig. 2. Mapa Geológico e Localização de poços e sondagens elétricas verticais.

GEOLOGIA

A área de estudo, de aproximadamente 1 km², está localizada numa região do Mioceno que possui unidades rochosas de caráter ígneo, principalmente extrusivas compostas por cinzas vulcânicas e fluxos de lavas basálticas e andesíticas. Sedimentos aluviais recentes, do tipo conglomerados, existem também depositados nas partes topograficamente mais baixas. Cronologicamente, esta geologia está constituída pelos seguintes elementos (Caballero 1987):

- unidade do Mioceno - Plioceno, formada por uma sucessão de cinzas vulcânicas e tufos, os quais se apresentam fraturadas e com uma permeabilidade média;
- unidade do Mioceno superior, formada por lavas e tufos, as quais apresentam grande fraturamento e afloram de forma irregular;
- complexo vulcânico composto principalmente por lavas e basaltos andesíticos elipsoidais, os quais se apresentam na forma de diques que afloram em pequenas unidades dispersas;

Localmente, a geologia é constituída por material aluvionar compacto e por uma cobertura argilosa e, de acordo com a estratigrafia de algumas perfurações, os estratos presentes na área são: argila, conglomerados, tufos e basaltos (Fig. 3). Por outro lado, do ponto de vista da geomorfologia, a área estudada está localizada numa região onde teve corridas de lava, sendo os terrenos, portanto, na forma de terraços. A altitude média é de 30 m acima do nível do mar, com diferença máxima de 5 m, existindo, nas proximidades, pequenos morros cujas elevações não ultrapassam 200 m. Nas direções norte e sudoeste de Capellania existem baixos na topografia, precisamente na direção dos vales aluviais de rios presentes na região (Carrasquilla 1986).

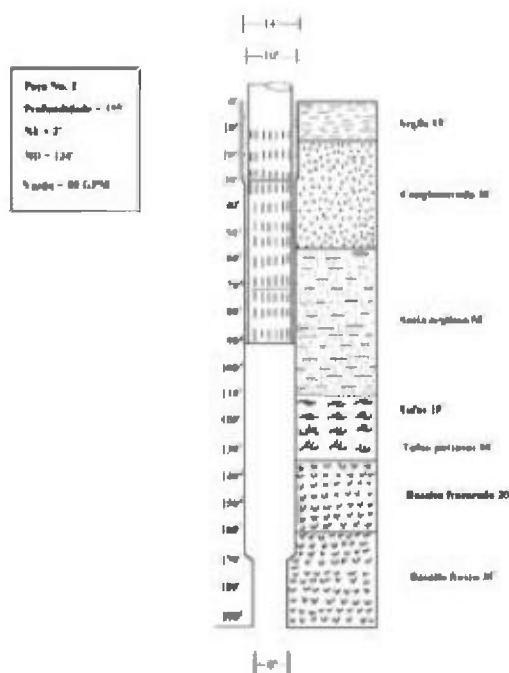


Fig. 3. Perfil estratigráfico típico da região.

METODOLOGIA

Em 1986, o DFS/IDAAN utilizou o método eletro-resistivo (ER) para obter 27 sondagens elétricas verticais (SEVs) com o arranjo Schlum-

$$T = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n = \sum_{i=1}^n \rho_i h_i;$$

$$S = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i};$$

berger, valendo-se do aparelho Stratameter R-50/SoilTest. Estas SEVs foram complementadas com outras 5 anteriormente realizadas na área por Lezcano & González (1983) com o mesmo aparelho (Fig. 2). A teoria utilizada para modelar os dados eletro-resistivos, é a bem conhecida teoria dos meios horizontalmente estratificados para o arranjo Schlumberger (Koefoed 1979). Usando esta teoria, ajustamos os dados reais através de uma modelagem iterativa direta e, com os modelos geoeletricos resultantes, foi possível classificar as SEVs em três famílias características, além de melhorar a interpretação com o cálculo de parâmetros como os de Darr Zarrouk e parâmetros hidráulicos como a condutividade e transmissividade. Para encontrar esses parâmetros, considera-se que a corrente elétrica atravessa um prisma constituído de n camadas paralelas, isotrópicas e homogêneas, de resistividades $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ e espessuras $h_1, h_2, \dots, h_n$, e uma área transversal de 1 m^2 (Fig. 4). Quando a corrente flui normal à base do prisma se tem a resistência total T do prisma e quando ela flui paralela, obtemos a condutância total S (Keller & Frischknecht 1966):

dados em Ωm^2 e S (Siemens), respectivamente.

Estes parâmetros geoeletricos estão relacionados com outros dois, conhecidos como resistividades longitudinal (ρ_l) e transversal (ρ_t) do bloco homogêneo que é equivalente ao prisma de camadas, expressados na forma:

$$\rho_t = \frac{T}{H}; \quad \rho_l = \frac{H}{S}; \quad (2)$$

ambas em Ωm , em que $H = h_1 + h_2 + \dots + h_n$ é a espessura total do pacote de camadas em m.

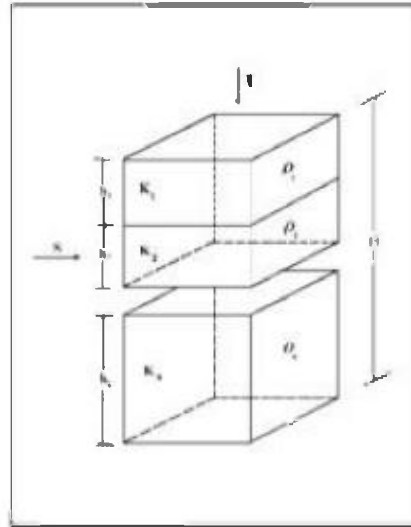


Fig. 4. Prisma de n camadas paralelas, isotrópicas e homogêneas (Koefoed 1979).

Devido à analogia entre fluxo subterrâneo da água e fluxo da corrente elétrica no meio geológico, respectivamente expressos pelas Leis de Darcy e de Ohm (Wang & Anderson 1982):

$$q = -K\nabla h; \quad \vec{J} = -\sigma\nabla V; \quad (3)$$

com q sendo a descarga específica (m^3/s), K a condutividade hidráulica (m^2/s), J a densidade de corrente elétrica (A/m^2), $\sigma = 1/\rho$ a condutividade elétrica (S/m), V a voltagem (Volts) e ∇ o operador gradiente, é possível calcular dois parâmetros hidráulicos, conhecidos como condutividades hidráulicas longitudinal (K_l) e transversal (K_t):

$$K_l = \frac{H}{\left(\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \dots + \frac{h_n}{K_n} \right)}; \quad K_t = \frac{(K_1 h_1 + K_2 h_2 + \dots + K_n h_n)}{H} \quad (4)$$

em que $K_1, K_2, \dots, K_n$ são as condutividades hidráulicas de cada camada, em m/s .

A partir dos resultados anteriores, podemos definir outros quatro parâmetros: o coeficiente de anisotropia (λ , adimensional), a resistividade média (ρ_m , em Ωm), a condutividade hidráulica média (K_m) e a anisotropia hidráulica (K_a), na forma:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_l}}; \quad \rho_m = \sqrt{(\rho_t \rho_l)}; \quad K_m = \sqrt{(K_t K_l)}; \quad K_a = \sqrt{\frac{K_t}{K_l}}. \quad (5)$$

Dependendo do tipo de meio geológico, segundo Mazác et al. (1990), o valor de K pode ser expressado por relações empíricas, dependendo se o meio é poroso (K_p) ou se é fraturado (K_f):

$$K_p = (10^3 \pi\%) = (97.5^{-1})(\rho^{1.195}) \quad \text{ou} \quad K_f = (33.7)(\rho^{-0.268}) \quad (6)$$

Uma vez conhecido K, é possível calcular a transmissividade hidráulica (T, em m^2/s) do aquífero através de (Marinho & Lima 1997):

$$T = KH. \quad (7)$$

Na região pesquisada, o DFS/IDAAN perfurou 10 poços, cujos dados referentes a perfis litológicos e testes hidráulicos foram também incorporados neste estudo (Tab. I). Com estes dados, calculamos T e K do aquífero, os quais também podem ser conhecidos a partir de testes hidráulicos dos poços in situ, por intermédio da expressão (Domenico & Schwartz 1990):

$$T = \left\{ \left[\frac{(2.3 * Q)}{(4\pi\Delta s)} \right] * \left[\log_{10} \left(\frac{t_1}{t_2} \right) \right] \right\}; \quad (8)$$

e a equação 7, respectivamente. Nesta equação, Q é a vazão do poço em m^3/h , $\Delta s = n_d - n_e$ (com n_d e n_e sendo os níveis estático e dinâmico da água dentro do poço), t_2 e t_1 são os tempos inicial e final do teste hidráulico, geralmente maior que 48 horas.

Tabela I. Dados dos poços perfurados na região.

Poço Nº	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Espessura do Aqüífero (m)
1	9	110	0,7	28
2	3	134	18,1	31
3	5	94	27,0	52
4	9	110	0,9	42
5	10	120	1,1	6
6	20	44	18,6	22
7	20	44	14,3	22
8	95	112	18,1	37
9	20	112	26,3	35
10	1	100	9,3	49

Em relação ao método do potencial espontâneo (SP, da sigla em inglês), o DF/UP realizou quatro perfis de 1 km de comprimento na direção leste - oeste, com separação de 50 m entre estações e com uma separação de 250 m entre perfis (perfis 100S, 0, 100N e 200N na Fig. 2). A técnica de medição utilizada foi a dos potenciais, que consiste em fixar um dos eletrodos a uma estação base e medir a diferença de potencial existente entre esta e cada uma das estações em perfis paralelos. Na medição dos potenciais, usou-se um voltímetro digital Fluke 8060A, com uma impedância de entrada de 80 MΩ, um cabo condutor comprido com cobertura isolante e um par de eletrodos não - polarizáveis de argila porosa. Com os dados obtidos, construiu-se o mapa das equipotenciais elétricos, a partir do qual se extrairam perfis que indicam as direções de fluxo, tal como indica a teoria dos potenciais espontâneos eletrocinéticos (Becker & Telford 1968). Utilizando estes perfis, foi feita uma parametrização dos mananciais subterrâneos, com o objetivo de localizar a direção de fluxo subterrâneo e a profundidade do seu eixo médio. Neste sentido e devido ao tipo de anomalia obtida, selecionou-se o modelo matemático da folha bidimensional de Rao & Babu (1983), que consiste numa linha de polos de igual intensidade ao longo da parte superior e inferior da mesma, cuja representação e parâmetros mais importantes estão indicados na Fig. 5. A equação matemática que calcula o potencial em qualquer ponto sobre a superfície é:

$$\Delta V(x) = M \ln \left[\frac{(x^2 + h^2)}{[(x-a)^2 + H^2]} \right]; \quad (9)$$

em que $a = (H - h)\tan\theta$, θ é o ângulo que a lâmina faz com a horizontal. $M = (Ip)/(2\pi)$ é o momento de dipolo, com ρ sendo a resistividade elétrica do meio encaixante à lâmina. Para tal fim, é utilizado um processo iterativo automático no sentido dos mínimos quadrados, no qual as posições e os pontos de amplitudes do máximo, mínimo e zero são escolhidos, avaliando então parâmetros tais como a origem, profundidade e a extensão da folha bidimensional infinita através do gradiente horizontal da curva.

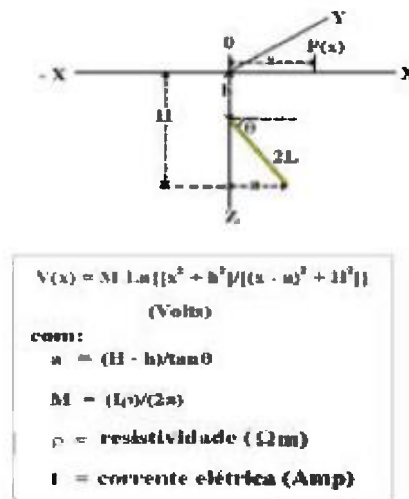


Fig. 5. Modelo do fluxo subterrâneo de água.

RESULTADOS

As SEVs mostradas na Fig. 6, as quais aparecem ajustadas ao modelo teórico, foram agrupadas em três famílias, localizadas, a primeira a leste, a segunda a noroeste e a terceira ao sudoeste da área prospectada (Tab. II). Estas SEVs apresentam as seguintes camadas geoeletricas (Carrasquilla & Caballero 1997):

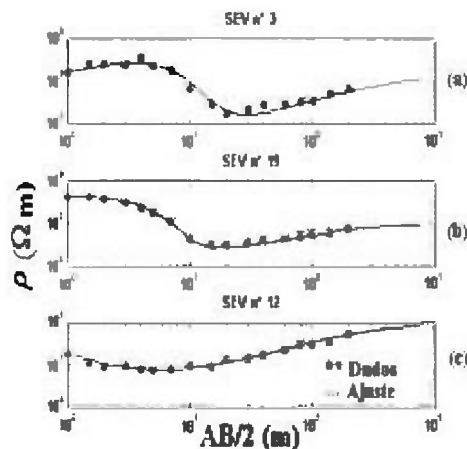


Fig. 6. Famílias de curvas e suas interpretações: a) primeira, b) segunda e, c) terceiras famílias.

- a primeira, representa o solo, geralmente argiloso com material orgânico, com espessuras (h) entre 0,2 a 4,5 m e resistividades (ρ) oscilando entre 23 e 4100 Ωm . Esta camada aparece claramente representada no começo das SEVs características de todas as famílias;
- a segunda, representada pela subida inicial nas curvas, caracteriza seixos cimentados com argila, portanto, com pouca porosidade e permeabilidade. Esta camada aflora localmente, possuindo ρ entre 80 e 3000 Ωm e h entre 0,4 e 12 m, sendo característica da primeira e segunda famílias;
- a terceira, indicada pela descida nas curvas, mostra uma camada condutiva, com ρ variando entre 7,5 e 80 Ωm e h entre 19 e mais de 100 m, valores estes que dependem da grande saturação e do tipo litológico. Esta camada é reconhecida em todas as famílias de curvas e é composta por tufos, o principal aquífero da área e;
- a quarta camada é uma subida final das curvas em ângulos próximos dos 45° , com ρ entre 100 e 500 Ωm , a qual é considerada como o embasamento cristalino resistivo. Em diversas perfurações do DFS/IDAAN, esta camada é descrita de forma diferente, seja como basalto, andesito ou tufo recristalizado.

Tabela II. Parâmetros resultantes da interpretação das SEVs características de cada família.

Parâmetros/Sondagem	SEV Nº 3	SEV Nº 19	SEV Nº 12
$\rho_1(\Omega m)$	120	2000	23
ρ_2	1000	7,5	8
ρ_3	14	100	20
ρ_4	150	—	100
h_1 (m)	0,6	1,7	0,6
h_2	1	20	10
h_3	30	—	15

O ramo terminal das SEVs foi utilizado para determinar a profundidade do embasamento resistivo, com cujos dados se elaborou um mapa que mostra maiores profundidades a sudoeste, com profundidades de até 150 m, e a sudeste, onde a rocha resistiva foi detetada a profundidades de até 90 m. No local onde se localiza a vila, observamos que a rocha fresca está mais próxima da superfície, a menos de 30 m (Fig. 7).

Considerando os tufos como o aquífero desta área, o mapa da spessura desta camada mostra que a mesma é mais espessa nos lugares nos quais o embasamento é mais profundo, com até 100 m. No centro da vila, porém, esta camada é bem delgada, com valores menores que 20 (Fig. 8a).

O mapa da iso-resistividade para $AB/2 = 3$ m é representativa das formações mais rasas e serve para delimitar a camada de seixos mais resistiva e impermeável. Sendo assim, podem-se observar valores maiores que 1500 Ωm na parte leste e valores menores, de até 100 Ωm , no setor oeste de Capellania (Fig. 8b).

Os valores de λ , tal como dado na equação 5, mostram que quanto mais próximo de 1, mais homogêneos e isotrópicos são os terrenos atravessados pela corrente elétrica. No mapa da Fig. 9a, pode-se observar que no setor sudoeste da área pesquisada, encontram-se valores deste parâmetro iguais a 1, o que demonstra a homogeneidade destes terrenos, com circulações da corrente iguais nas direções horizontal e vertical. Nos outros setores vizinhos, os valores são muito maiores que 1, trata-se, portanto, de terrenos muito heterogêneos, com $p_t > p_l$.

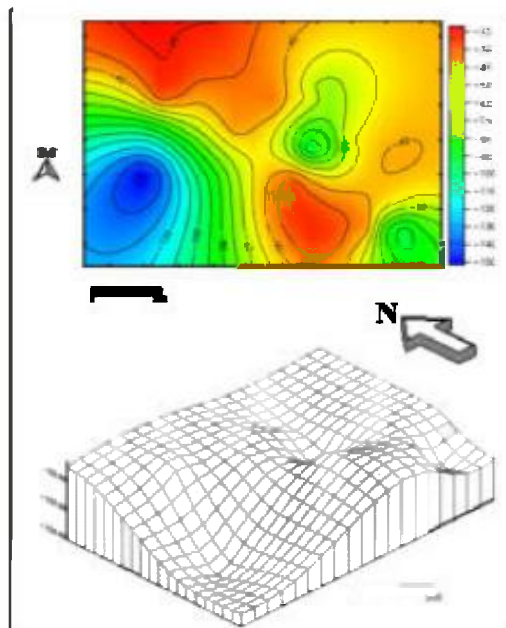


Fig. 7. Mapas da profundidade do embasamento resistivo. Escalas em metros.

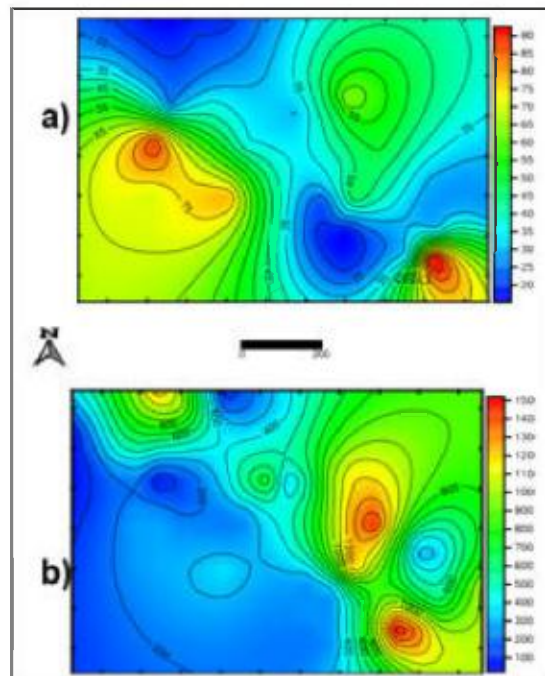


Fig. 8. Mapas da a) espessura do aquífero. b) resistividade aparente em $AB/2=3$ m. Escalas em metros.

O mapa do potencial espontâneo, mostra que a direção preferencial do fluxo de água subterrânea está numa direção sudoeste, a qual é indicada no mapa como P1. Entretanto, na região central da área de estudo, percebemos uma outra linha do fluxo na direção sudeste, quase perpendicular à primeira, indicada no mapa como P2 (Fig. 9b). Na direção nordeste da área, pode-se pensar na existência de uma outra direção de fluxo, mas, não temos confiança neste valores, pois os mesmos podem ser produto do tipo de interpolação utilizado.

Fig. 9. Mapas do a) coeficiente de anisotropia e do, b) potencial espontâneo na área. Escalas em metros.

Na interpretação de ambas anomalias, foram ajustados o modelo teórico da fig. 5 aos dados de campo (Fig. 10), obtendo-se os resultados que aparecem na Tabela III.

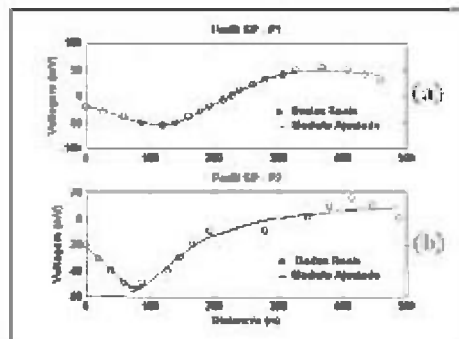


Fig. 10. Interpretações dos perfis P1 e P2.

Tabela III. Parâmetros resultantes da modelagem de uma folha bidimensional infinita e inclinada.

Parâmetro\Perfil	P1	P2
Profundidade (m)	73	43,7
Comprimento (m)	199,1	100,1
Inclinação (graus)	163,3	99,7
Resistividade (Ωm)	36,5	26,1
Erro do ajuste (%)	11,3	28,4
Iterações (No.)	16	25

Os valores de K_m e T_m calculados pela Eq. 5 e representados na Fig. 11 na forma de mapas, mostram altos valores de T_m nos setores oeste e sudeste, apesar dos altos valores de K_m ao norte e sul da área. Por outro lado, os valores calculados para o aquífero, destes dois parâmetros, usando-se a Eq. 8, são mostrados nos mapas da Fig. 12. Estes últimos parâmetros também nos indicam altos valores para o oeste e o sudeste da região, mostrando o fluxo subterrâneo preferencial da água nestas direções.

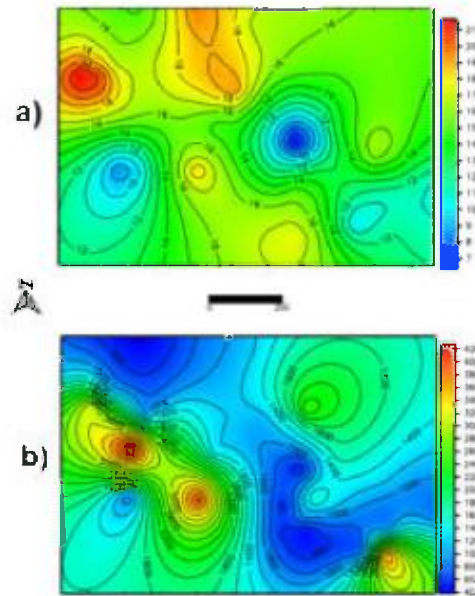


Fig. 11. a) Condutividade e b) transmissividade hidráulicas da região a partir de dados geolétricos. Escalas em metros.

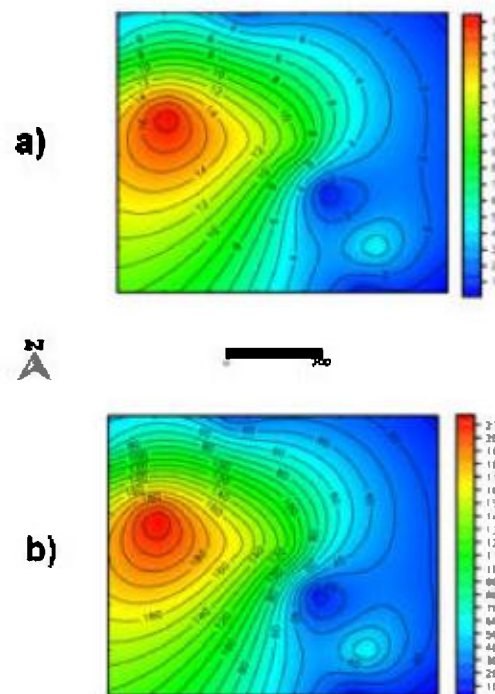


Fig 12. a) Condutividade e b) transmissividade hidráulicas da região a partir de testes *in situ*. Escalas em metros.

CONCLUSÕES

Os resultados com o método ER indicam que os setores oeste e sudeste são os mais convenientes para realizar perfurações, justamente onde o embasamento é mais profundo e a camada de tufos é mais espessa. Entretanto, onde a vila se localiza, não é aconselhável perfurar porque ali o embasamento é mais raso e a camada aquífera mais fina. Por outro lado, o mapa do λ (coeficiente de anisotropia) indica que a corrente elétrica circula facilmente na vertical e na horizontal nos terrenos localizados a oeste, possivelmente devido a que são terrenos geologicamente homogêneos e saturados em água. No setor sudeste, pelo contrário, os altos valores de λ no local denunciam uma alta heterogeneidade destes terrenos. Isto pode ser também observado no mapa de iso-resistividade $AB/2=3$ m, o qual mostra altos valores de ρ para o setor leste, com a presença da camada impermeável de conglomerados, e baixos valores no setor oeste, com a presença de um pacote homogêneo condutivo de tufos por cima do embasamento resistivo.

Os resultados com o método SP mostram a existência de duas direções preferenciais do fluxo subterrâneo de água na área, os quais saem da vila nas direções indicadas pelos perfis P1 e P2. Nestes perfis, novamente os setores oeste e sudeste aparecem como os melhores locais para perfurar poços. A vila, pelo contrário, situa-se na zona de recarga do aquífero subterrâneo, como mostram vários poços aí perfurados, as possibilidades de altas vazões no local são baixas. O ajuste do perfil P1 se apresenta com menor erro (11,3 %) e os parâmetros calculados, tais como a inclinação, a profundidade e a ρ para o meio que envolve a lamina polarizada, são mais confiáveis. O pior ajuste para o perfil P2 de 28,4 %, mostra a existência de um fluxo quase vertical nesta direção, que pode-se dar através de fraturas.

Os valores calculados para K e T, usando-se duas metodologias diferentes, mostram as mesmas direções preferenciais de fluxo subterrâneo nas direções oeste e sudeste. Existem discordâncias nos valores obtidos através das duas metodologias, mas é preciso esclarecer que para o cálculo teórico, escolhemos um fluxo teórico de forma fraturada, porque a geologia sugere isso e porque o modelo de fluxo poroso teórico apresentava valores discordantes ainda maiores. No caso dos testes

hidráulicos, estes parâmetros foram calculados exclusivamente para a camada aquífera, embora outras camadas podem contribuir na vazão do poço, além de que o aquífero pode apresentar um fluxo misto entre fraturado e poroso. É necessário também mencionar que a densidade de informações geoeletricas é três vezes maior que a dos testes hidráulicos.

Baseados em todas estas informações, sugerimos o setor W de Capellania como o melhor para a construção de poços. Isto se deve a que esta área apresenta o embasamento cristalino a uma profundidade maior, uma espessura adequada do aquífero, uma recarga possível pela inclinação do embasamento cristalino, a ausência da camada superficial impermeável de seixos, as direções de fluxo indicadas pelo método SP e os altos valores de T. A existência do poço No. 9 com uma boa vazão neste setor da área prospectada é um excelente indicativo das boas possibilidades. Ao perfurar os poços neste setor, é conveniente não ir muito na direção SW, porque apesar desta área apresentar parâmetros físicos semelhantes, a presença de águas subterrâneas salgadas no poço N° 8 e a camada condutiva encontrada na porção terminal das SEVs, sugerem que pode existir água deste tipo em profundidade. Por outro lado, poderia-se pensar que o setor sudeste, o qual apresenta características semelhantes ao W pode constituir-se numa outra opção. Entretanto, a presença de uma camada superficial impermeável de conglomerados, provavelmente impede a principal fonte de recarga da área, que são as chuvas, o que nos leva a não considerar este setor.

REFERÊNCIAS

- Becker, A. & W.M. Telford. 1968. Spontaneous polarization studies. *Geophysical Prospecting*, 13(2): 173-188.
- Caballero, A. 1987. El método de potencial espontáneo en la exploración geofísica de fuentes subterráneos de agua". Informe de Proyecto, Departamento de Física, Universidad de Panamá. 21 p. Inédito.
- Carrasquilla, A. 1986. Estudio geofísico para aguas subterráneas en Capellania, Natá". Reporte Interno, Departamento Fuentes Subterrá-

neas, Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales. 110 p. Inédito.

Carrasquilla, A. & A. Caballero. 1997. Métodos geofísicos de corriente continua en Capellania - Republica de Panamá. Anais 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Vol. 1: 449 - 452, São Paulo, SP.

Domenico, P.A. & F.W. Schwartz. 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons, New York. 824 pp.

Keller, G.V. & F.C. Frischknecht. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Inc., New York. 517 pp.

Koefoed, O. 1979. Geosounding Principles I: Resistivity Sounding Measurements. Elsevier, Amsterdam, 276 pp.

Lezcano, M. & J. González. 1983. Aplicación del método eletro-resistivo en la prospección de agua subterránea en el área de Capellania, Aguadulce. Tesis de Licenciatura, Departamento de Física, Universidad de Panamá. 165 pp.

Marinho, J.M.L. & O.A.L. De Lima. 1997. Características hidráulicas na região Acaraci-Itarema/Ceará, usando sondagens de eletro-resistividade. Anais 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Vol. 1: 445-448, São Paulo, SP.

Mazác, O., M. Cislerová, W.E. Kelly, I. Landa, & D. Venhodová. 1990. Determination of hydraulic conductivities by surface geoelectrical methods. In: Ward, S.H.. Investigations in Geophysics N° 5, Geotechnical and Enviromental Geophysics, Enviromental and Groundwater. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists. Vol. 2:125-131.

Rao, A. & R.H.V. Babu. 1983. Quantitative interpretation of self-potential anomalies due to two-dimensional sheet-like bodies. Geophysics, 48 (12):1659-1664.

Wang, H.F. & M.P. Anderson. 1982. Introduction to groundwater modelling. Academic Press, London. 237 p.

AGRADECIMENTOS

As seguintes instituições contribuíram na realização deste trabalho: CNPq, LENEP/UENF, IDAAN, DF/UPA, Vice-Reitoria de Investigação / Pós-Graduação e Instituto de Geociências, estes dois últimos da Universidade do Panamá. As sugestões dos revisores foram também de muita utilidade no aprimoramento deste artigo.

Recibido enero de 2004, aceptado enero de 2006.



ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA CAPACIDAD DE DEPREDACION DE *Ocyptamus gastrostactus* (Diptera: Syrphidae) SOBRE *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae) EN CITRICOS

Daniel A. Emmen y Dora Isabel Quirós

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

RESUMEN

Se evaluó la capacidad de los diferentes estadios de desarrollo de larvas de *Ocyptamus gastrostactus* para depredar áfidos ápteros de la especie *Toxoptera citricida* a diferentes densidades de la presa y del depredador en condiciones de laboratorio. Para llevar a cabo las observaciones de depredación, se utilizaron pots con plantas de *Citrus sinensis* (naranja dulce) con alturas que oscilaban entre 18 y 30 cm y con aproximadamente 20 hojas cada uno. Para llevar a cabo las observaciones se construyeron cilindros de malla metálica fina con un diámetro aproximado de 20 cm y cuya altura dependía de la longitud de las plantas. Los áfidos y el depredador fueron distribuidos homogéneamente en las hojas y tallo de cada planta y se evaluó la capacidad de depredación de las larvas en cada uno de sus tres estadios. Para ello se colocó en cada planta, 10, 20, y 30 áfidos con 1, 2 y 3 depredadores de cada estadio para cada densidad de presa. Los resultados sobre depredación se observaron a las 24 horas repitiendo cada ensayo tres veces. A medida que el número de depredadores de *O. gastrostactus* se incrementaba, la eficiencia individual de cada depredador aumentó al igual que la eficiencia total. Se observó aproximadamente un 100% de depredación cuando se utilizaron tres individuos de *O. gastrostactus* en el sistema de observación, independientemente del número de presas utilizado. Observaciones cualitativas sobre la conducta de depredación de las larvas de *O. gastrostactus* complementaron este estudio.

PALABRAS CLAVES

Syrphidae afidófago, *Ocyptamus gastrostactus*, *Toxoptera citricida*, capacidad de depredación, Control Biológico, Manejo Integrado de Plagas.

ABSTRACT

The capacity of different larval stages of *Ocyptamus gastrostactus* (Diptera: Syrphidae) larvae to predate apterous aphids of *Toxoptera citricida* at different prey and predator densities was evaluated under laboratory conditions. Plants of *Citrus sinensis* (sweet orange) of 18-30 cm high and having approximately 20 leaves were used to run the experiments. Cylinders of fine metallic mesh of 20 cm diameter and height depending upon citrus plants size, were used to cage plants, predators and preys and carry out observations. Aphids and predators were homogeneously distributed on the leaves and stems of each plant and the predation capacity of each larval stage was evaluated. In order to do this, 10, 20 and 30 aphids with 1, 2 and 3 predators of each larval stage per prey density were placed together on each plant. As the number of predators increased, individual predatory effectiveness increased as well as the total predatory effectiveness. When three predators were introduced in the observation system, approximately 100% of predation was observed independently of prey number. Predation results were registered at 24 hours repeating each experiment three times. Qualitative observations on *O. gastrostactus* larvae predation behavior complemented this study.

KEYWORDS

Syrphidae aphidophagous, *Ocyptamus gastrostactus*, *Toxoptera citricida*, predation capacity, Biological Control, Integrated Pest Management.

INTRODUCCIÓN

Dos de las características básicas de un depredador y que afectan su éxito en la adquisición de alimento, son la eficiencia de aprovisionamiento y el tiempo de manipulación de la presa (Chambers 1988). La eficiencia de aprovisionamiento es afectada por características de la presa tales como densidad, tamaño y velocidad de escape y por características del depredador tales como velocidad de ataque, capacidad de búsqueda y por características abióticas. El tiempo de manipulación de la presa es una función del tiempo tomado para someter y comer una presa. Tanto la eficiencia de aprovisionamiento como el tiempo de manipulación de la presa pueden ser influidos por el estado de inanición (hambre) del depredador (Holling 1966; Leir & Barlow 1982; Rotheray & Martinat 1984).

Según Hassell (1976) y Rotheray & Martinat (1984), el determinante principal del éxito de un depredador en la adquisición de alimento, es su eficiencia o capacidad de búsqueda. El término “eficiencia de búsqueda” ha sido utilizado tanto por ecólogos teóricos como prácticos. Dentro de este contexto, un depredador eficiente ataca una

mayor proporción de presas en un período dado de tiempo que uno menos eficiente (Hassell 1982).

Los Syrphidae afidófagos son importantes depredadores de muchas especies de áfidos. Sus larvas se alimentan vorazmente, a menudo comiendo varios cientos de áfidos cada una durante su desarrollo. A pesar de su gran voracidad, el uso de los Syrphidae afidófagos en el Control Biológico (importante táctica dentro del Manejo Integrado de Plagas), no es tarea fácil debido a sus demandas ecológicas relativamente altas en el ambiente: las larvas y adultos tienen dietas diferentes; los adultos no solo se alimentan de miel de áfidos (“honey dew”) sino también de néctar y polen. (Schneider 1969; Michaud & Belliure 2001).

Toxoptera citricida es una especie de áfido que se considera una plaga significativa en cítricos ya que es el vector primario del virus de la tristeza (CTV) (Meneghini 1948; Michaud & Belliure 2001). (Fig. 1 A, B).



Fig. 1. Plantación de cítricos en el Copé (Coclé), afectada por el virus de la tristeza (CTV) (B); el vector de la enfermedad viral (CTV), el áfido *Toxoptera citricida* (B).

Sólo los áfidos alados tienen una probabilidad significativa de moverse entre árboles y diseminar la enfermedad, de modo que las colonias que producen áfidos alados son de mucho interés económico (Michaud 1999ab). La depredación puede producir una disminución en la densidad de las colonias ya sea por remoción directa de individuos dentro de las colonias (disminuyendo así la posibilidad de formación de gran cantidad de individuos alados potencialmente peligrosos en la transmisión del CTV en plantaciones de cítricos) o indirectamente por

perturbación de la colonia provocando la emigración de los individuos hacia otros sitios de reproducción y alimentación (Michaud, & Belliure 2001). En nuestro medio, es común observar árboles de cítricos atacados densamente por colonias de áfidos (*T. citricida*, principalmente), los cuales al parecer, son controlados en forma natural por larvas de Syrphidae (*Ocyptamus gastrostactus* y *Pseudodorus clavatus*) mayormente y algunas veces por larvas de Coccinellidae (*Cycloneda sanguinea*) y Chrysopidae (*Chrysopa* sp) (Emmen 1989-2002, observación personal) (Fig. 2).

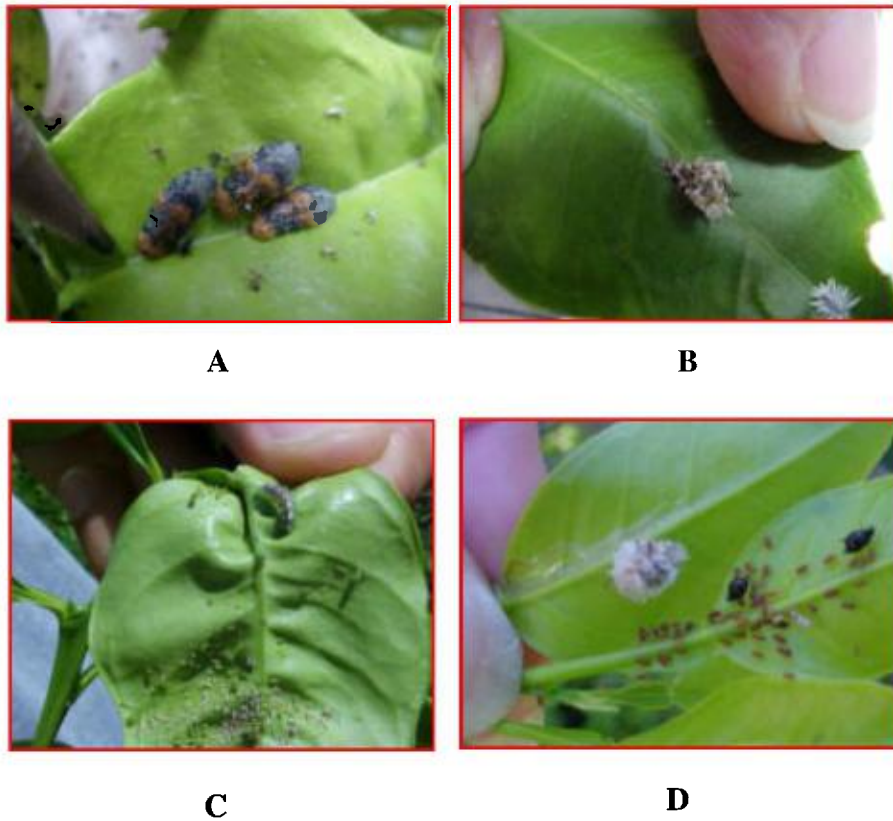


Fig. 2. Larvas de *Ocyptamus gastrostactus* depredando a *Toxoptera citricida* (A); larvas de *Chrysopa* sp y de *Cycloneda sanguinea* (B); larva de *Pseudodorus clavatus* depredando *T. citricida* de diferentes estadios ninfales (C); larva de *Chrysopa* sp. alimentándose de diferentes estadios ninfales de *T. citricida* (D).

Sin embargo, poco se sabe sobre la eficiencia de estas larvas en el consumo y control de las colonias de áfidos que proliferan en las ramas jóvenes de naranja dulce y otros cítricos.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de diferentes estadios de desarrollo de *O. gastrostactus* para depredar áfidos ápteros de *T. citricida*, a diferentes densidades de la presa y del depredador en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo las observaciones realizadas, se utilizaron plantas de naranja dulce (*Citrus sinensis*), con aproximadamente 20 hojas cada uno y con una altura que oscilaba entre 18 y 30 cm, sembrados en potes de poliestireno. La superficie de cada pote fue cubierta con una tapa de plástico a la que se le abrió un orificio central para pasar por éste el tallo de cada planta. Ambas piezas eran fácilmente removidas para irrigar las plantas periódicamente. Para evitar el exceso de humedad que se produce en las paredes cuando se utilizan cámaras de observación de plástico o vidrio, se construyeron cilindros de malla metálica fina con un diámetro aproximado de 20 cm y cuya altura dependía del tamaño de la planta. La parte superior de cada cilindro fue cubierta con muselina. Los sistemas de observación fueron colocados en el laboratorio a un fotoperíodo de 13hL:11hO y a una temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$.

Para llevar a cabo las observaciones de depredación, se colectaron hembras ápteras adultas de *T. citricida* de una colonia mantenida en el laboratorio; las larvas de *O. gastrostactus* (en sus tres estadios de desarrollo larvario: L1, L2, L3), fueron colectadas de árboles de *C. sinensis* infestados en forma natural en el campo y colocadas en cajas de aluminio colapsables, las cuales contenían plantas de naranja dulce. Para evaluar la capacidad de depredación de las larvas en sus tres estadios, se colocaron plantas con tres densidades de presa: 10, 20, y 30 áfidos con uno, dos y tres depredadores por cada estadio de vida para cada densidad de presa. Los áfidos fueron distribuidos homogéneamente en las hojas de cada planta de naranja y los resultados se observaron a las 24 horas, repitiendo cada experimento tres veces. No hubo reposición de presas en ninguno de los experimentos de depredación realizados.

Los datos sobre depredación de *O. gastrostactus* sobre *T. citricida* fueron procesados a través de un ANOVA encajado de tres niveles-Modelo Mixto (Sokal & Rohlf 1981) y mediante la prueba de rango múltiple de Duncan (5% de probabilidad) (Little & Hills 1981). Además de recabar información cuantitativa sobre la eficiencia de depredación de *O. gastrostactus*, se llevaron a cabo cuidadosas observaciones cualitativas sobre el comportamiento de depredación de este insecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuando se comparó el porcentaje de depredación de los tres estadios larvales de *O. gastrostactus* ante tres densidades de *T. citricida*, se observó en todos los casos un mayor porcentaje de depredación cuando las larvas eran de tercer estadio independientemente de la densidad de la presa. Ha sido demostrado en otros estudios, que las larvas de Syrphidae incrementan su eficiencia con la edad (Chambers 1988), tal y como ha sido observado en este estudio (Cuadro 1).

Por otro lado, el porcentaje promedio de consumo de acuerdo con la densidad de la presa, fue mayor cuando esta densidad fue de 20 áfidos para una o dos larvas del depredador (Cuadro 1).

En contraste, cuando hubo tres depredadores, el promedio fue casi el mismo para las tres densidades de presa en estudio. Al evaluar en forma individual cada estadio larval, se observó casi un 100% de depredación cuando había tres individuos del depredador en el sistema, independientemente del número de presas. Igualmente, el promedio de consumo de los tres estadios de desarrollo del depredador ante tres densidades de presa fue más alto (99%) con tres depredadores en el sistema. De acuerdo con el análisis efectuado, el porcentaje promedio total de consumo de los tres estadios de desarrollo del depredador ante tres densidades de presa fue de 84% (Cuadro 1).

Aunque se observó aproximadamente un 100% de depredación cuando se utilizaron tres individuos de *O. gastrostactus* en el sistema de observación (independientemente del número de presas), es importante validar estos resultados llevando a cabo un experimento de campo para determinar la potencialidad de este Syrphidae como depredador eficiente de *T. citricida*. Esta validación se llevaría a cabo según lo

establecido por O'Neil (1989), en donde sugiere comparar la respuesta funcional de un enemigo natural tanto en condiciones de campo como de laboratorio.

Con respecto a la eficiencia depredadora de larvas de diferentes estadios de *O. gastrostactus* ante diferentes densidades de la presa, el análisis de varianza (al 5% de probabilidad) indicó que hubo diferencias significativas en la eficiencia depredadora al variar el número de depredadores y también dependiendo del estadio de desarrollo de la larva (ANOVA; $F_{2,6} = 6.83$, $P < 0.05$). Sin embargo, no se observó diferencia significativa en la capacidad de depredación al variar el número de presas (ANOVA; $F_{6,18} = 1.17$, n.s). La eficiencia en captura y depredación para cada estadio pareció no depender del número de presas disponibles. Es importante señalar que cuando hubo uno o dos depredadores por sistema de observación, el segundo estadio larval mostró una tendencia a disminuir el porcentaje de depredación con respecto al primero, independientemente del número de presas. Ante tres depredadores no hubo diferencias en consumo entre estadios de desarrollo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de depredación por diferentes estadios larvales de *Ocyptamus gastrostactus* (L1, L2, L3) sobre *Toxoptera citricida* ante diferentes densidades de la presa y del depredador.

No. de depredadores	1									2									3									
No. de presas	10			20			30			10			20			30			10			20			30			
Estadío larval % de depredación 3 repeticiones % promedio de consumo/ No. presas	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
	80	60	100	95	90	100	70	63	80	100	100	100	90	100	90	83	53	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	70	50	90	90	80	95	73	57	73	80	70	100	70	90	95	70	50	100	100	100	100	100	100	100	100	87	100	100
	60	40	80	85	70	90	50	51	67	60	40	100	50	80	100	53	47	100	100	100	100	100	100	100	100	73	100	100
	70	50	90	90	80	95	64	57	73	80	70	100	70	90	95	69	50	100	100	100	100	100	100	100	100	87	100	100
	70			88			65			83			85			73			100			100			96			
Promedio/ No. de depredador	74									80									99									
Promedio Total de consumo	84																											

Al realizar el análisis Múltiple de Duncan, a los porcentajes promedio de depredación para cada situación, sólo se observaron diferencias significativas (5% de probabilidad) entre las larvas de cada estadio del depredador cuando se colocaron 10 áfidos con un solo depredador y cuando 30 áfidos fueron expuestos a dos depredadores (Cuadro 2).

A pesar de que se esperaba que una densidad de 30 áfidos por planta fuera suficiente para tres larvas de *O. gastrostactus*, los resultados demuestran que aparentemente, la población de la presa era muy baja para su consumo en 24 horas. El tamaño de las colonias preferidas para oviposición por otras especies de Syrphidae varía entre 15 a 50 áfidos (Michaud & Browning 1999), lo que garantizaría suficientes presas para las larvas en desarrollo. Se deduce entonces que para *T. citricida*, el número óptimo de individuos en condiciones de campo debe ser mayor de 30 para cada larva de *O. gastrostactus* sin importar el estadio de desarrollo. Por otro lado, hay que tener en cuenta que en las condiciones en la que se llevó a cabo esta investigación, las larvas invirtieron más tiempo en la búsqueda de las presas del que invierten en condiciones naturales ya que, en este último caso, las hembras del depredador ovipositan en la colonias de áfidos garantizándole así a su descendencia alimento abundante con el menor gasto de energía en la búsqueda del mismo. Ha sido demostrado que la eficiencia de depredación disminuye con un descenso en la infestación de áfidos como resultado de un incremento en el tiempo de búsqueda cuando las poblaciones de áfidos son abundantes; los depredadores son capaces de adaptar su tasa de alimentación a la fuente de alimento real. Por lo tanto, la densidad de larvas del depredador necesarias para evitar un crecimiento de la población plaga, es baja (Tenhumberg 1995).

Adicionalmente, se observaron diferencias en el porcentaje de depredación entre la larvas del tercer estadio y las larvas del primer y segundo estadio, cuando se sometieron 10 presas a dos depredadores y diferencias entre la larva del primer estadio, con respecto a las larvas del segundo y tercer estadio, cuando hubo 20 presas expuestas a dos depredadores (ANOVA; $F_{18, 54} = 5.08$, $P < 0.05$). En el resto de los casos no se observaron diferencias significativas.

Las observaciones sobre el comportamiento del depredador llevadas a cabo en esta investigación, demuestran que las larvas hambrientas de *O. gastrostactus* al igual que otras especies citadas por Schneider

(1969), exploran y palpan primero los alrededores con la parte anterior del cuerpo, dentro de su alcance en posición de descanso. Luego inician el movimiento de forma continua palpando siempre a su alrededor. La larva levanta completamente la parte frontal del cuerpo del sustrato y oscila de lado a lado. Esto fue mayormente observado en las larvas de tercer estadio, probablemente debido a su mayor tamaño. Según Schneider (1969), la percepción de la presa a una gran distancia no tiene sentido en el complicado sistema de ramas y ramitas de un árbol o arbusto. Los sistemas de pre-localización de las larvas de Syrphidae están pobremente desarrollados y los áfidos son encontrados por contacto al azar.

Cuadro 2. Porcentaje promedio de individuos de *Toxoptera citricida* depredados por cada estadio de desarrollo de *Ocyrtamus gastrostactus* a diferentes densidades de la presa y del depredador después de 24 horas de confinamiento sobre *Citrus sinensis* bajo condiciones de laboratorios.

Densidad de la Presa								
10			20			30		
Densidad del depredador								
1	2	3	1	2	3	1	2	3
L1 c 70	b 80	a 100	a 90	b 70	a 100	a 63.3	b 70	a 86.6
L2 b 50	b 70	a 100	a 80	a 90	a 100	a 56.6	c 50	a 100
L3 a 90	a 100	a 100	a 95	a 95	a 100	a 73.3	a 100	a 100

Nota: medias seguidas por la misma letra en la misma columna vertical, no son significativamente diferentes ($P > 0.05$) de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan.

Las larvas saciadas de *O. gastrostactus*, descansan cerca de la colonia de áfidos, teniendo al alcance su alimento en muy corto tiempo. Las larvas más viejas atrapan los áfidos con sus mandíbulas puntiagudas y los levantan rápidamente. Los dos segmentos de la mandíbula son retraídos de modo que el áfido se encaja en la depresión como un tapón y el contenido de éste es succionado con ayuda de los ganchos orales.

Las larvas de tercer estadio comen grandes cantidades de áfidos en la colonia en un corto tiempo y por lo general estos no muestran reacción de escape.

Una conducta particular observada en *O. gastrostactus* es la de reptar velozmente sobre una colonia de áfidos, envolviendo a todos los que encuentre a su paso en una sustancia pegajosa que impide al insecto moverse, para luego regresar a devorarlos. Es importante señalar que esta sustancia pegajosa funciona como una marca que impide que la presa sea devorada por otra larva.

Rotheray & Martinat (1984), demostraron que los depredadores hambrientos de áfidos se mueven hacia el brote terminal de la planta en respuesta a una fototaxis positiva o geotropismo negativo. Puesto que muchos áfidos forman colonias en los brotes terminales esto es claramente muy ventajoso. Esta es también una conducta observada en *O. gastrostactus* en los árboles y arbustos de cítricos. Una vez en el brote terminal de la planta, *O. gastrostactus* examina cuidadosa y constantemente el área. Después de un tiempo, la larva se hace positivamente geotáctica y repta hacia abajo. Sin embargo, esta fase no tarda mucho y es continuamente interrumpida por fases geotácticas negativas a cortos intervalos. Si no encuentra presas, la fase hacia abajo es más larga, y la larva prefiere ahora buscar en las ramificaciones laterales de las ramas. Este comportamiento puede ser debido también a la ausencia de aminoácidos libres presentes en los brotes terminales que al ser consumidos en su totalidad, obliga a los áfidos a desplazarse a brotes inferiores. Larvas de depredadores con este tipo de comportamiento son bastante efectivas, ya que devoran muchos áfidos en un corto tiempo (más de 100 en 24 horas) y además pueden encontrar áfidos pequeños en las axilas de las hojas tiernas del ápice de la planta.

En todos los experimentos llevados a cabo en el laboratorio, se observó el desplazamiento de las larvas de *O. gastrostactus* a todo lo largo y ancho del plantón, cubriendo en su recorrido todas las hojas y si la densidad de presa era insuficiente, eran encontrados al día siguiente en la parte superior de la cámara de observación, sitio al que tuvieron que llegar desde la base de la planta, pues no había contacto de ésta con las paredes del cilindro.

CONCLUSIONES

Las larvas de *O. gastrostactus* de segundo y tercer estadio fueron más eficientes consumiendo áfidos que las de primer estadio.

A medida que el número de depredadores de *O. gastrostactus* se incrementaba, la eficiencia individual de cada depredador aumentó al igual que la eficiencia total.

El porcentaje promedio total de consumo de los tres estadios de desarrollo de *O. gastrostactus* ante tres densidades de presa fue de 84%.

Hubo diferencias significativas en la eficiencia depredadora de *O. gastrostactus* al variar el número de depredadores y según el estadio de desarrollo de la larva.

La conducta de búsqueda y estrategia de depredación observada en *O. gastrostactus* indica que puede ser un potencial agente de control biológico de *T. citricida* en cítricos.

REFERENCIAS

- Chambers, R. J. 1988. Syrphidae. En: Minks, A. K. & P. Harrewijn (eds), Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control, Vol B. Elsevier, Amsterdam, pp. 259 – 270.
- Hassell, M. P. 1976. The dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems. Mono. Pop. Bio. 13. Princeton University Press, Princeton: 198.
- Hassell, M. P. 1982. What is searching efficiency? Ann Appl. Biol. 10 (1): 170-175.

Holling, C. S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. Mem. Ent. Soc. Can. 48. 86 pp.

Leir, V. Y & C. A. Barlow. 1982. Effects of starvation and age in foraging efficiency and speed of consumption by larvae of a flower fly *Metasyrphus corollae* (Syrphidae). Can. Ent. 144: 897-900.

Little, T. M. & F. J. Hills. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. E. Trillas, México; 270 páginas.

Meneghini, M. 1948. Experiencias de transmissao da doenca "tristeza" dos citrus pelo pulgao preto da laranjeira. O. Biológ. 14: 115-118.

Michaud, J.P. 1999a. Aggregation by alatae of *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). Environ. Entomol. 28: 205-211.

Michaud, J.P. 1999b. Sources of mortality in colonies of the brown citrus aphid, *T. citricida*. BioControl 44: 347-367.

Michaud, J.P & B. Belliure. 2001. Impact of Syrphid predation on production of migrants in colonies of the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). Biological Control, 21: 91-95.

Michaud, J.P & H.W. Browning. 1999. Seasonal abundance of the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Homoptera : Aphididae) an its natural enemies in Puerto Rico. Fla Entomol. 82 :424-447.

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

Rotheray, G. E. & P. Martinat. 1984. Searching behavior in relation to starvation of *Syrphus ribesii*. Ent. exp et appl. 36: 17-21.

Schneider, F. 1969. Bionomics and physiology of aphidophagous Syrphidae. Ann. Rev. Entomol. 14: 103-124.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1981. Biometry, 2nd ed. Freeman, New York.

Tenhumberg, B. 1995. Estimating predatory efficiency of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae) in cereal fields. Environ. Entomol. 24(3): 687-691.

Recibido junio de 2004, aceptado febrero de 2006.



INTERFERENCIA BIFOTÓNICA EN UN DIVISOR DE HACES ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Adriano Ibarra – Durán
SERLAB S.A. (Servicios de Laboratorio S.A.)
e-mail: adrian_ibarra@hotmail.com

RESUMEN

Revisamos como la interferencia tipo HOM permitió explorar una nueva entidad física: el Bifotón. Este Bifotón es producto directo de la Conversión Paramétrica Baja (PDC) y su existencia constituye otra evidencia del “enlace cuántico”. Dicho enlace, en términos de energía y momentum lineal, además de sus polarizaciones permite obtener los cuatro estados de Bell. La misma interferencia HOM sirve para hacer mediciones de los Estados de Bell (BSM) y permite distinguir uno de éstos Estados. Esta característica le brinda una gran importancia en el desarrollo de los nuevos campos de aplicación de la mecánica cuántica.

PALABRAS CLAVES

Interferencia, Interferencia HOM, Bifotón, Divisor de Haces.

ABSTRACT

We review HOM interference and explore a new physical entity: The Two-Photon or Biphoton. This Two-Photon is product of Parametric Down-Conversion (PDC) and its existence is a new evidence of quantum entanglement. This entanglement, on energy and momentum, besides on polarization allow us to produce any of the four Bell's states [ref 12]. Finally, the HOM interference can be used to develop Bell's State Measurements (BSM) and distinguish one of Bell's States [ref 5]; this is a very important feature to use it in new fields of applications of quantum mechanics.

KEYWORDS

Interferente, HOM Interferente, Biphoton, Beam splitter, Two-photon.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de interferencia es la esencia del peculiar comportamiento de los sistemas mecánico-cuánticos. Basta recordar el experimento de la doble rendija de Young, aplicado a fotones y/o electrones, el cual revela efectos cuánticos producto de la interferencia. (Feynman 1965, Hetch 1997). Aquí, revisamos la “superposición” de dos fotones que alcanzan un divisor de haces, analizando algunos experimentos relacionados. Este tipo de “superposición” es fundamental en interferómetros y en campos tales como computación cuántica, la criptografía cuántica y la teleportación cuántica (Jennewein et al., 1999, Bennett et al., 1993, Bouwmeester et al., 1998).

EL DIVISOR DE HACES DE DIRAC

El Divisor de Haces (DH) puede consistir en un sencillo espejo semiplataado o en uno, mas elaborado, que genere haces polarizados (Hetch 1997). En cualquier caso, este elemento permite dividir un haz de luz en dos, con direcciones diferentes. En la Figura 1 vemos un DH del tipo 50/50. Este tipo de DH permite que la mitad de los fotones que componen el haz sean transmitidos, y la otra mitad serán reflejados. Al recombinar los dos haces componentes, se origina un patrón de interferencia, como el caso de los interferómetros. Podría pensarse, entonces, que algunos fotones se duplican (superposición constructiva) y otros se aniquilan (superposición destructiva), pero ¿Qué pasa con la conservación de energía? Los fotones son paquetes discretos de energía radiante que no pueden sólo desaparecer.

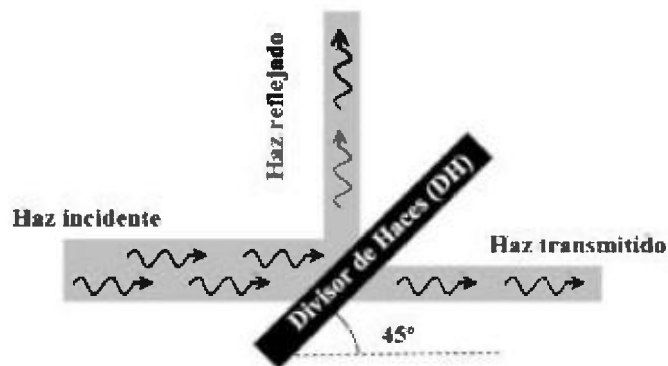


Fig. 1. Funcionamiento de un divisor de haces del tipo 50/50, desde un punto de vista semiclásico.

Es aquí cuando P. Dirac nos ofrece una interpretación alternativa: Cuando se dice que un DH es 50/50, lo que en realidad significa es que cada fotón tiene un 50% de probabilidad de ser transmitido y 50% de ser reflejado. La función de onda, asociada a cada fotón, viaja parcialmente en cada componente del haz para luego realizar la interferencia. Obsérvese que hablamos de la función de onda que se divide e interfiere, no del fotón.

De esta forma, Dirac establece el principio que “cada fotón, entonces, interfiere sólo consigo mismo. La interferencia entre dos diferentes fotones nunca ocurre”.

INTERFERENCIA TIPO SA/HOM

Entre 1987 y 1988 dos equipos independientes: Y.H Shih y C.O Alley (SA), y por otro lado, C.K. Hong, Z.Y. Ou y L. Mandel (HOM), reportaron un fenómeno que llamó la atención de los investigadores (Branning 2000). A continuación describimos tal fenómeno con la ayuda de la Figura 2: Un haz de luz incidente (láser ultravioleta), llamada luz de *bombeo*, atraviesa un cristal no lineal de Beta-Borato de Bario (BBO) y emergen de éste dos haces que llamamos “ordinario” y “extraordinario”¹. Ambos componentes de la luz inicial cumplen con las condiciones de conservación de energía y momento ($\omega_B = \omega_S + \omega_O$ y $\vec{k}_B = \vec{k}_S + \vec{k}_O$).

El proceso completo recibe el nombre de Conversión Paramétrica Baja (PDC, por sus siglas en inglés) y puede tener dos variantes según si los haces emergentes poseen igual polarización (Tipo-I) o si poseen polarizaciones perpendiculares (Tipo-II) (Kurtsiefer et al. 2001).

Siguiendo con el diagrama, los fotones que conforman los haces emergentes (F1 y F2) son enviados a dos espejos que los redirigen al DH. De allí, los fotones transmitidos/reflejados son registrados por los detectores D1 y D2. Note que el recorrido de F2 puede alterarse cambiando la posición relativa del espejo E2. De esta forma, se incluye un retraso relativo (Δ) entre la llegada de los fotones al DH.

¹ Estos rayos también reciben los nombres de “señal” y “ocioso”.
Tecnociencia, Vol. 8, Nº 1

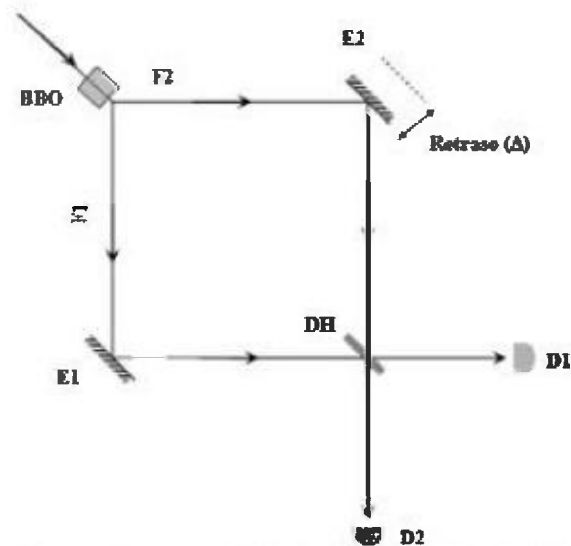


Fig. 2. Esquema del interferómetro tipo HOM.

En esta prueba se analiza el número de coincidencias (N_c) en ambos detectores, en función de retraso relativo, Δ . Llamamos coincidencia al evento en que ambos detectores registran un fotón cada uno, aunque no de forma simultánea. En la Figura 3 tenemos un diagrama representativo del resultado de tal experiencia.

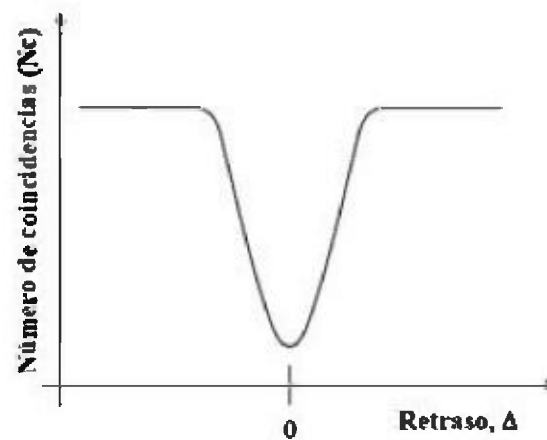


Fig. 3. Forma representativa de los resultados experimentales del interferómetro HOM.

Observe que el número de coincidencias cae rápidamente cuando el retraso entre fotones se acerca a cero, esto es, cuando los caminos

ópticos de ambos fotones son iguales. Este es el efecto SA/HOM ó efecto HOM (*Hong-Ou-Mandel*).

Un análisis de la situación indica que los fotones F1 y F2, serán registrados en los detectores si ocurre una doble reflexión (evento r-r) o una doble transmisión (evento t-t) en el DH. La Figura 4 muestra los eventos r-r y t-t, en un diagrama tiempo-espacio, donde la línea vertical gris representa al DH y los colores se utilizan para distinguir la trayectoria de ambos fotones.

El evento r-r se distingue de uno t-t por la secuencia en que activan los detectores. En la figura vemos que la secuencia D1-D2 indica un evento r-r, mientras que la inversa (D2-D1) indica un evento t-t.

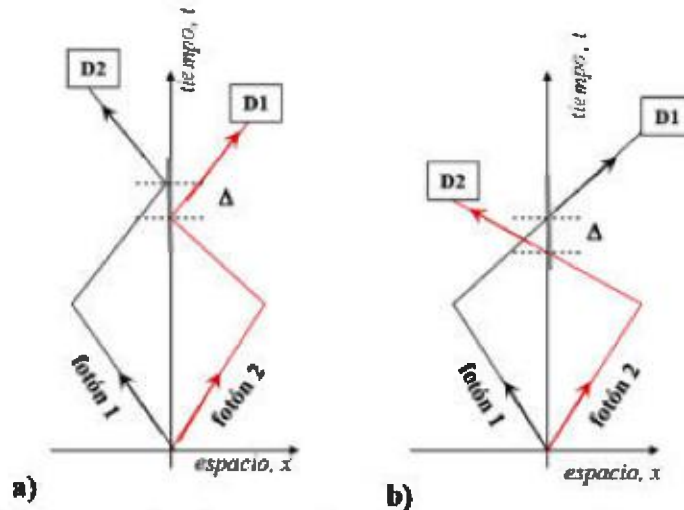


Fig. 4. Diagramas tipo Feymann de a) un evento r-r y b) un evento t-t. Ambos producen coincidencia en los detectores D1 y D2.

La Figura 3 muestra que mientras $\Delta \neq 0$ el número de coincidencias permanece casi constante. Sin embargo, cuando no existe diferencia en las trayectorias de ambos fotones ($\Delta = 0$), no es posible distinguir un evento r-r de uno t-t. (Fig. 5). Se registran detecciones simultáneas en D1 y D2. El hecho de que las coincidencias caigan a cero en este momento se interpreta como una superposición o interferencia destructiva que ocurre en el DH (Pittman et al., 1996, Braunstein et al., 1995).

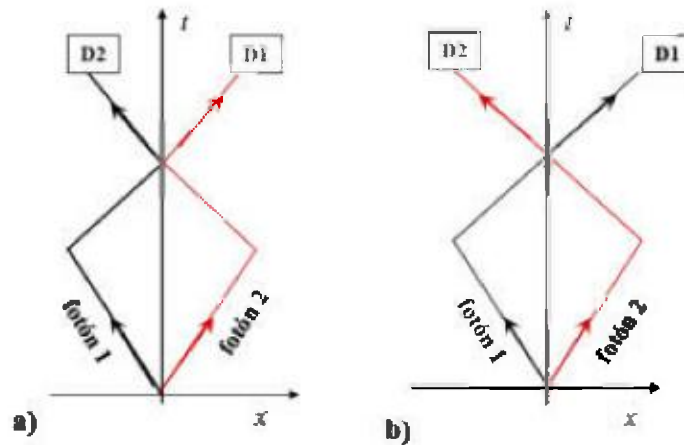


Fig. 5. Diagrama de Feymann de a) un evento r-r y b) un evento t-t, cuando los fotones siguen caminos ópticos idénticos ($\Delta=0$).

INTERFERENCIA BI-FOTONICA

Una primera interpretación del análisis anterior puede conducirnos a la idea de que estamos frente a una interferencia de dos fotones, que alcanzan un mismo punto de manera simultánea. Tal como las ondas en una cubeta.

Ante una perspectiva como esta, T.B. Pittman et al. (1996), además de otros investigadores, proponen y desarrollan una serie de experimentos tendientes a dilucidar la verdadera naturaleza de este fenómeno.

A continuación, analizamos el arreglo experimental utilizado por Y-H Kim, mostrado en la Figura 6. Aquí, la luz de bombeo utilizada, consiste en pulsos láser ultra-rápidos de unos 120 fs de duración (Kim 2003 a y b). La PDC tipo II ocurre en el cristal de BBO de donde emergen los haces que llamamos extraordinario (rayo-e) y ordinario (rayo-o).

En este tipo de conversión paramétrica los dos haces resultantes tienen forma de conos intersectados. Los fotones que conforman el rayo-e poseen polarización vertical ($|V_e\rangle$), mientras que los fotones del rayo-o poseen polarización horizontal ($|H_o\rangle$). En la Figura 7 se muestran éstos rayos.

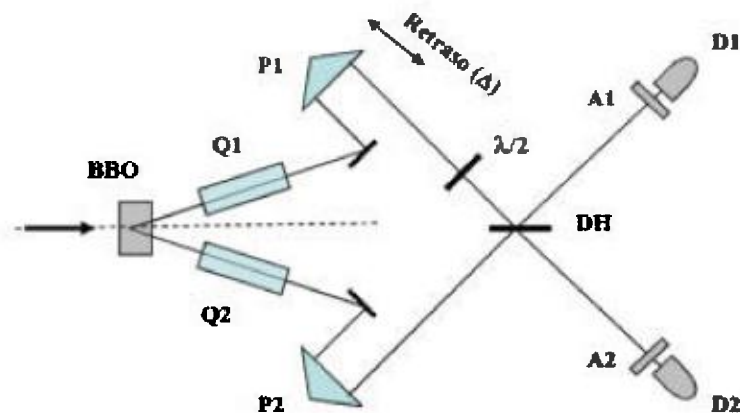


Fig. 6. Arreglo experimental empleado por Y-H Kim, para el estudio de la “interferencia tipo HOM” (Preprint; arXiv:quant-ph/0304030).

Los puntos donde ambos rayos se interceptan se generan fotones con polarización no definida, pero que tomados en pares poseen polarizaciones ortogonales. Estos pares de fotones son los utilizados en esta experiencia. La polarización de un par de fotones sería, entonces, $|H_o\rangle_1|V_o\rangle_2$ o $|V_o\rangle_1|H_o\rangle_2$. Donde los subíndices 1 y 2 se refieren a los caminos ópticos seguidos por los fotones.

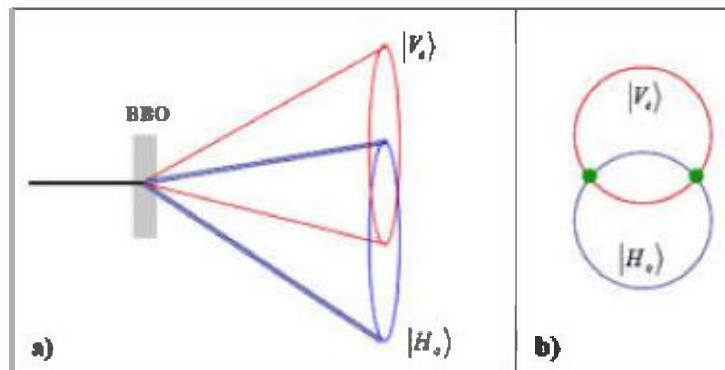


Fig. 7. Resultado de la PDC tipo II donde los haces cónicos resultantes poseen polarizaciones distintas, no así la intersección de dichos conos.

Una vez generados, los fotones atraviesan dos piezas idénticas de cuarzo (Q1 y Q2) con ejes ópticos verticales las que, añaden un

desfase temporal (τ) entre ellos². El desfase introducido es del orden de 630 fs.

Antes de llegar al DH, y después de reflejarse en los prismas P1 y P2, se cambia la polarización de uno de los fotones con una lámina de media onda ($\lambda/2$) orientada 45° .

Los detectores D1 y D2 registraran los fotones reflejados/transmitidos por el DH. Frente a dichos detectores se colocan dos analizadores (polarizadores), llamados A1 y A2.

Al igual que el experimento anterior, se hace un estudio del número de coincidencias en función del retraso (Δ) introducido al desplazar el prisma P1. Notamos que, aun cuando las trayectorias de los fotones sean iguales ($\Delta=0$), existirá una diferencia de tiempo τ en su llegada al DH.

Sólo los eventos de una doble reflexión (r-r) o una doble transmisión (t-t) darán como resultado una coincidencia.

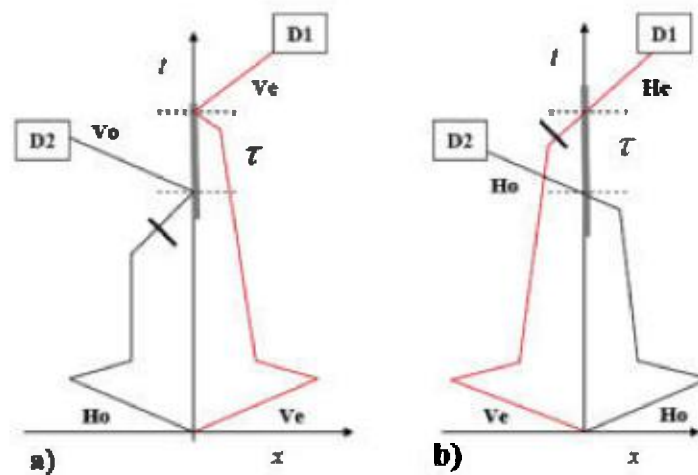


Fig. 8. Posibles trayectorias de los fotones que llevan a una coincidencia en a) un evento r-r y b) un evento t-t.

Ya que la lámina de media onda cambia el estado de polarización $|V\rangle \leftrightarrow |H\rangle$, solo existen dos posibilidades para lograr la

² Para el cuarzo el "eje lento" coincide con el eje óptico, mientras su "eje rápido" es perpendicular a éste.
174 Ibarra-Durán, A.

coincidencia. Las alternativas, cuando $\Delta=0$, se muestran esquemáticamente en la Figura 8.

En los diagramas se nota el retraso de un fotón respecto al otro, y aunque la secuencia de detección es la misma para ambos, podríamos distinguir un evento t-t de uno r-r por las polarizaciones de los fotones detectados.

Para “borrar” la distinguibilidad de los fotones se colocaron los analizadores A1/A2 con orientaciones $45^\circ/45^\circ$, manteniendo así la fase entre ambas señales. También se hizo con polarizaciones $45^\circ/-45^\circ$. Una representación de los resultados experimentales se muestra en la Figura 9 (Pittman et al., 1996).

La polarización de A1 y A2 nos permite pasar de un patrón de interferencia destructiva, visto en la experiencia original de HOM, a una constructiva. Note que a pesar de que los fotones no llegan simultáneamente al DH, aun así se obtiene un patrón de interferencia.

Un punto crítico de esta experiencia, es permitir que ambos fotones lleguen simultáneamente al DH y determinar si ocurre la esperada interferencia.

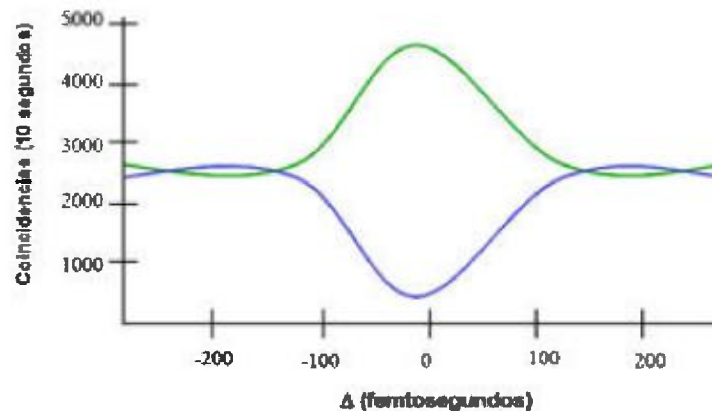


Fig. 9. Representación experimental de la interferencia de dos fotones. La línea azul corresponde a las orientaciones $45^\circ/45^\circ$, mientras que la línea verde corresponde a $45^\circ/-45^\circ$. Los efectos de interferencia destructiva y constructiva son evidentes. (Preprint; arXiv:quant-ph/0304030).

Para esto, se colocan $Q1 = V$ y $Q2 = H$, de tal forma que ambos fotones posean el mismo retardo τ .

Las alternativas para el registro de una coincidencia, para cuando $\Delta = 0$, se muestran en la Figura 10. Observe como los detectores se disparan al mismo tiempo y no se distingue un proceso del otro. Adicional a esto, las polarizaciones son idénticas y los analizadores tienen orientaciones $A1/A2 = 45^\circ/45^\circ$.

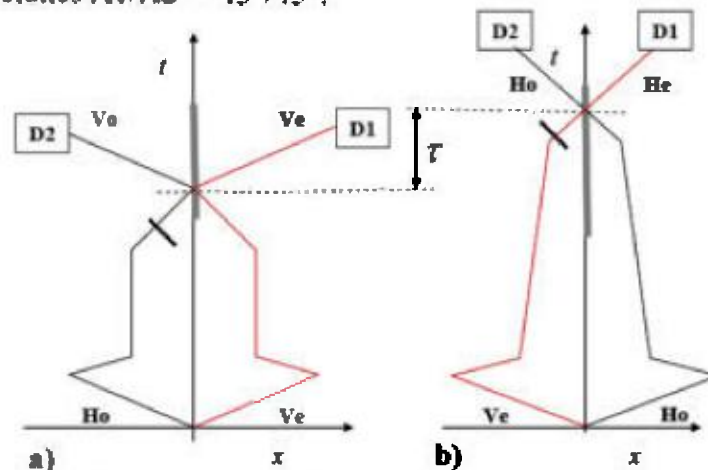


Fig.10. Posibilidades para una coincidencia para los casos de a) una doble reflexión y b) una doble transmisión. Note que no existe un desfase entre los fotones cuando alcanzan el DH.

Tal como deseábamos, ambos fotones llegan al DH al mismo tiempo y solo el retraso introducido (Δ) hace que sean distinguibles (al igual que en las Figs. 4 y 5).

Aunque ambos procesos parecen ser indistinguibles, no lo son del todo, puesto que el intervalo de tiempo para un evento r-r es menor que para uno t-t. En este caso, El número de coincidencias permaneció constante, y no se apreció ningún tipo de interferencia.

ANÁLISIS

Lo que muestran estas y otras experiencias es una nueva faceta de la interferencia cuántica. Vemos como fotones que llegan en diferentes intervalos de tiempo al DH, producen un patrón de interferencia, mientras que llegados de manera simultanea, no lo hacen.

Según lo expresó R. Feynman, es la capacidad de distinguir los procesos que tienen lugar lo que permite observar o no, el patrón de interferencia. Así, mientras no conozcamos cual de los eventos ocurren (t-t o r-r), observaremos una interferencia o superposición de ambas posibilidades (Feynman 1965). Lo que estas experiencias revelan, es el “redescubrimiento” de un viejo pero importante principio, con nuevas implicaciones.

Si las palabras de Dirac son ciertas, respecto a que “la interferencia de dos fotones nunca ocurre”, ¿Que tipo de fenómeno estamos observando?. Parece ser, entonces, que los fotones producidos por la PDC no son en si mismos, fotones individuales e independientes, sino que forman parte de una entidad física única, de las que dichos fotones forman parte. Esta entidad, que podríamos denominar el “Bifotón”, funciona como un sistema unitario y conserva este carácter, a pesar de los distintos caminos que siguen sus componentes.

Esto es lo que se llama efecto no-local; algún tipo de correlación que mantiene “enlazados” ambos componentes.

UNA APLICACIÓN: MEDICIÓN DE LOS ESTADOS DE BELL (BSM)

El fenómeno del “enlace cuántico” (entanglement en inglés) nació con la Mecánica Cuántica y fue combatido por Einstein y otros científicos que veían en sus consecuencias, violaciones a la relatividad y al principio de Localidad³.

El caso más sencillo de “enlace” esta asociado con el spin de dos partículas. Supongamos que las dos partículas se generan con spines opuestos ($-1/2$ y $+1/2$) y dichas partículas están enlazadas. Antes de cualquier medición, el spin de una partícula no esta definido, pero cuando se mide, sus posibilidades colapsan a sólo una, es decir $-1/2$ o $+1/2$. De manera inmediata la otra partícula “sabe” que su spin debe ser contrario a la primera, sin importar si ambos están separados por varios kilómetros (Nielsen 2003, Strekalov 1998). Además, si cambiamos la polarización de una de ellas, la otra, instantáneamente, reconoce el cambio y altera su spin, para no violar las leyes de

³ Este principio establece que objetos lo suficientemente lejanos no se afectan de forma directa unos a otros.

conservación. Einstein se refirió a este fenómeno como un “misterioso efecto a distancia”. Hoy en día, los experimentos han demostrado la realidad del “enlace” o “efecto EPR” (Aspect 1999).

Como hemos visto, el bifotón, producido por PDC tiene las características de un sistema enlazado, en lo referente a sus polarizaciones, además de su energía y momentum lineal. Considerando las polarizaciones de la intersección de los rayos ordinario y extraordinario, podemos escribir el estado de una pareja de fotones como

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|H\rangle_1 |V\rangle_2 + e^{-i\alpha} |V\rangle_2 |H\rangle_1 \right)$$

Donde $|H\rangle_1 |V\rangle_2$ y $|H\rangle_2 |V\rangle_1$ representan los posibles estados de polarización del bifotón. El factor $e^{-i\alpha}$, contiene el desfase α entre estas dos posibilidades, debido a la birrefringencia del cristal de BBO. El factor $1/\sqrt{2}$ sirve como constante de normalización.

Wiat et al. (1995), mostraron que este estado bifotónico puede manipularse hasta obtener los estados con polarizaciones enlazadas, que se pueden escribir como

$$\begin{aligned} \Psi^{\pm} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|H\rangle_1 |V\rangle_2 \pm |V\rangle_2 |H\rangle_1 \right) \\ \Phi^{\pm} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|H\rangle_1 |H\rangle_2 \pm |V\rangle_1 |V\rangle_2 \right) \end{aligned}$$

Estos son los llamados Estados de Bell⁴. Las dos primeras funciones ($\Psi^{\pm}$) representan la función simétrica y antisimétrica de un estado en que los fotones poseen polarizaciones ortogonales $|H\rangle_1 |V\rangle_2$ o $|H\rangle_2 |V\rangle_1$, mientras que las dos funciones restantes describen la situación para fotones con igual polarización.

Braunstein S. & A. Mann (1995) fueron los primeros en proponer la interferencia tipo HOM como un mecanismo para determinar si un bifotón se encuentra en uno de los estados de Bell. Ellos demuestran, entonces, que la coincidencia de los detectores D1 y D2, del

⁴ El estado de Bell es un estado cuántico de máximo enlace entre dos partículas. Éstos representan la forma más simple de enlace cuántico y la más utilizada en la Informática Cuántica.

interferómetro HOM sólo ocurre cuando el estado de polarización del bifotón, al abandonar el DH, es descrito por una función antisimétrica de polarizaciones ortogonales. Esto es

$$\Psi^- = \frac{1}{\sqrt{2}} (|H\rangle_1 |V\rangle_2 - |V\rangle_2 |H\rangle_1)$$

De este hecho, se sigue toda una nueva interpretación a los resultados experimentales que hemos presentado: La anulación de las coincidencias, entonces, nos indica la superposición destructiva de las dos posibles polarizaciones del bifotón ($|H\rangle_1 |V\rangle_2$ o $|H\rangle_2 |V\rangle_1$). Dichas polarizaciones son indistinguibles al momento que se abandona el DH, por lo que observamos el patrón de interferencia.

El hecho de que la interferencia tipo HOM sirva para hacer mediciones de los Estados de Bell (BSM, siglas en inglés)⁵ es lo que da importancia al análisis aquí mostrado: Aunque el estado individual de los fotones no pueda conocerse con precisión (debido al principio de incertidumbre), la capacidad de medir el “estado enlazado” del bifotón, nos permite, en cierto sentido, “vencer” el principio de incertidumbre de Heisenberg y prepara el camino para la revolución cuántica actual.

CONCLUSIÓN

La interferencia tipo HOM nos ha permitido “redescubrir” la esencia de la interferencia cuántica: La indistinguibilidad de los procesos que se puedan dar en determinada interacción. Aunque no sea algo nuevo, sus implicaciones actuales sí lo son.

Confirmamos lo expresado por Dirac en cuanto a que “la interferencia de dos fotones nunca ocurre”, y al mismo tiempo, reconocemos la existencia de la entidad física llamada bifotón, el cual posee características no-locales.

Su uso como BSM, hace de la interferencia tipo HOM, una herramienta potente en el desarrollo de los nuevos campos que surgen del dominio de la Mecánica Cuántica.

⁵ Es una medida mecánico-cuántica conjunta de dos partículas enlazadas, para determinar en cual de los cuatro estado de Bell se encuentran.

REFERENCIAS

- Aspect, A. 1999. *Bell's Inequality test: more ideal than ever*. *Nature*, Vol.398, 189.
- Bennett, C., G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres & W. Wootters. 1993. *Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channel*. *Phys Rev. Lett.* Vol. 70, 1895.
- Bouwmeester, D., Pan, J-W. Mattle, K. Eibl, M. Weinfurter & H. Zeilinger, A. 1998. *Experimental quantum teleportation*. *Nature* Vol 390, 575.
- Branning, D. & A. Migdall. 2000. *Simultaneous measurement of group and phase delay between two photons*. *Phys. Rev A*. Vol 62, 063808.
- Braunstein, S. & A. Mann. 1995. *Measurement of the Bell Operator and Quantum Teleportation*. *Phys. Rev A*. Vol 51, R1727.
- Feynman, R., R. Leighton & M. Sands. 1965. *Lectures on Physics*, Vol III. Addison-Wesley. E.U.A.
- Hecht, E. & A. Zajac. Óptica. 1977. Fondo Educativo Interamericano S.A. E.U.A.
- Jennewein, T., C. Simon, G. Weihs, H. Weinfurter & A. Zeilinger, 1999. *Quantum Cryptography with Entangled Photons*. Preprint; arXiv:quant-ph/9912117
- Kim, Y-H. & W. Grice. 2003. *Quantum interference with distinguishable photons through indistinguishable pathways*. Preprint; arXiv: quant-ph/0304086.
- Kim, Yoon-Ho. 2003. *Two-Photon interference without bunching two photons*. Preprint; arXiv:quant-ph/0304030.
- Kurtsiefer, C., M. Oberparleiter & H. Weinfurter. 2001. *Generation of correlated photon pairs in type-II parametric down conversion – revisited*. *J. Mod. Opt*, Vol. 48, No. 13.

Kwiat, P., K. Mattle, H. Weinfurter & A. Zeilinger. 1995. *New High – Intensity source of polarization-entangled photon pairs*. Phys. Rev. Lett. Vol 75, 4337.

Nielsen, M.A. 2003. *Complex Quantum World*. Sci. Am., Vol 13 No.1 (Edición especial: the edge of physics).

Pittman, T., D. Strekalov, A. Migdall, M. Rubin, A. Sergienko & Y. Shih. 1996. *Can Two-Photon interference be considered the interference of two photons?* Phys. Rev. Lett. Vol 77, 1917.

Strekalov, D., Y-H. Kim & Y. Shih. 1998. *Experimental Study of A Photon as A Subsystem of An Entangled Two-Photon State*. Preprint; arXiv:quant-ph/9811060.

Recibido febrero de 2005, aceptado enero de 2006.



NOTA SOBRE LA PRESENCIA DEL FESTIVO *Mesonauta festivus* (Heckel, 1840) EN EL LAGO GATÚN, PANAMÁ
ARTICULO DE DIVULGACIÓN

Rigoberto González G.

Sociedad Panameña de Malacología, Apartado 6 – 1836, El Dorado, Panamá,
República de Panamá.

e- mail: Brycon@latinmail.com

RESUMEN

En este trabajo se reporta la presencia de un pez ornamental exótico, el festivo o cíclido bandera, *Mesonauta festivus* (Heckel 1840), en las aguas del Lago Gatún, Canal de Panamá. Igualmente se expone una hipótesis sobre su introducción, así como, observaciones y notas preliminares de su comportamiento y distribución en estas aguas canaleras.

PALABRAS CLAVES

Mesonauta festivus, reporte, introducción, Lago Gatún, Canal de Panamá.

ABSTRACT

This paper report the presence of an exotic and ornamental fish, the festivum or flag cichlid *Mesonauta festivus* (Heckel 1840) introduced into the Gatún Lake waters in the Panamá Canal. Also we present preliminary observations related to their behaviour and distribution in this ecosystem, as well as, a hypothesis to explain their introduction.

KEYWORDS

Mesonauta festivus; report, introduction, Gatún Lake, Panamá Canal.

INTRODUCCIÓN

Durante años, nuestro país ha sido objeto de un sinnúmero de introducciones de peces de agua dulce, los cuales han entrado al país con diversos propósitos, entre los que se destacan la acuicultura, pesca deportiva y la acuarofilia. González (1995), reporta el estado de estas introducciones y de su establecimiento en algunos ecosistemas dulceacuícolas del país. A partir de esta publicación, no se han realizado estudios sobre el tema, hecho que nos impide conocer sobre la presencia de nuevos peces exóticos en nuestras aguas continentales. En vista de esta escasez de información, decidimos escribir esta nota, con la intención de destacar la presencia del festivo o ciclido bandera (*Mesonauta festivus*), un nuevo pez exótico habitante de las aguas del Lago Gatún, Canal de Panamá. Igualmente, en este trabajo proponemos una hipótesis sobre su llegada al Lago Gatún y presentamos algunas notas preliminares de su comportamiento y distribución en este medio acuático.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GÉNERO *MESONAUTA* GÜNTHER (1862)

Los peces incluidos en el género *Mesonauta*, pertenecen a la familia Cichlidae y se caracterizan primordialmente por ser peces pequeños, de color amarillo verdoso, con cuerpos comprimidos, que usualmente alcanzan una talla máxima de 20 cm.

Entre otras características sobresalientes del género, están sus aletas pectorales largas, así como, la presencia de una banda lateral oscura, formada por manchas continuas, la cual se inicia inmediatamente detrás del ojo y se desplaza en forma oblicua hasta alcanzar la parte media posterior de la aleta dorsal. A pesar de que la mayoría de las especies son omnívoras, algunas también poseen hábitos herbívoros. (Leibel 1993, Sakurai et al., 1993).

En la última revisión taxonómica de este género, Kullander & Silfvergrip (1991), determinaron la existencia de cinco especies y de otras 5 a 6 especies por describir, las cuales poseen una distribución geográfica restringida a Sudamérica.

HIPÓTESIS SOBRE LA ENTRADA DEL FESTIVO AL LAGO GATÚN

En mayo de 2003, al percatarnos de la presencia y reproducción de un ciclido del género *Mesonauta* en las aguas de la comunidad de La Lagarterita, Lago Gatún, iniciamos una investigación con la intención principal de identificar y conocer como llegó esta especie exótica a las aguas de este cuerpo lacustre.

Conociendo la pluralidad de especies que integran el género *Mesonauta*, utilizamos la clave aparecida en la revisión sistemática de Kullander & Silfvergrip (1991), para determinar que la nueva especie exótica habitante del Lago Gatún, corresponde al pez ornamental conocido como festivo o ciclido bandera (*Mesonauta festivus*, Fig. 1)



Fig. 1. Adulto de *Mesonauta festivus* colectado en La Lagarterita, Lago Gatún.

De acuerdo a los autores anteriores, el festivo posee una distribución geográfica natural restringida a Sudamérica, encontrándose en la Amazonía Boliviana, la cuenca de Guaporé-Mamoré, en Bolivia; el Río Madre de Dios, en Perú, la cuenca del Río Paraguay y en los ríos Jamari y Bajo Tapajós en el Brasil, por lo que descartamos que su entrada a este embalse haya sido de forma natural.

A falta de los registros oficiales o privados adecuados, que nos indiquen con certeza la procedencia y propósitos de esta introducción, y tomando en cuenta que el festivo es un pez de ornato, suponemos que su entrada al país pudo haberse dado a través de los negocios de acuarios y que su posterior llegada al Lago Gatún, pudo ocurrir de forma intencional, al ser liberados por algún acuarista misericordioso en las aguas cercanas al muelle de Gamboa.

Probablemente, dicha introducción se realizó a finales de los años noventa (entre 1998 y 1999), fecha en que aparecieron, según versiones de los guías de pesca y los pescadores artesanales del lago, los primeros ejemplares cerca al muelle público de Gamboa.

De acuerdo a los pescadores artesanales de La laguna y áreas aledañas, desde su entrada a estas aguas, el festivo se ha desplazado lentamente desde Gamboa hacia la parte norte del Canal de Panamá, encontrándose en la actualidad en las orillas del río Chagres (sección que desemboca al lago), La Laguna, Isla de Barro Colorado, Frijoles, Lagartera Grande y La Lagarterita, último punto en donde hemos verificado su presencia. La figura 2, muestra un mapa con las localidades donde actualmente se ha reportado la presencia de este ciclido.

ANOTACIONES PRELIMINARES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL FESTIVO EN EL LAGO GATÚN

Basados en observaciones de campo y en entrevistas con los pescadores artesanales y habitantes de las áreas señaladas en el mapa, podemos indicar que la *Aletona*, como se le conoce localmente, vive asociada a los caños o bahías de aguas quietas y transparentes, en profundidades inferiores a 3 m. En sus hábitats nativos, esta especie suele vivir en las aguas lénticas, como las sabanas de inundación, donde prefiere las aguas claras y tranquilas (Keith et al., 2000).

Por lo general, en estas bahías del Gatún, busca las zonas con alguna cobertura vegetal o sombra, en donde utiliza las raíces sumergidas del hicaco (*Chrysobalanus icaco*), las hojas del loto acuático (*Nymphaea* sp.), o en ausencia de las anteriores, las masas de hidrilas (*Hydrilla* sp.) para colocar e incubar sus huevos.

Durante el período de reproducción, que según los pescadores del Lago Gatún, se da durante todos los meses del año, estos peces suelen encontrarse nadando solos o en pareja a lo largo de los caños. En recorridos realizados en el área de Lagartera Grande y Lagarterita, observamos que cuando estos peces son sorprendidos durante su nado, se quedan inmóviles, cerca o a media superficie del agua y en caso de peligro, rápidamente buscan refugio en la vegetación de las riberas circundantes, este último comportamiento también ha sido observado en la Guyana Francesa (Keith et al., 2000).

Aunque no contamos con una investigación detallada sobre la reproducción y cantidad de huevos desovados por camada en las aguas canaleras, en Sudamérica, esta especie puede desovar entre 200 y 500 huevos (Leibel 1993; Sakurai et al., 1993), los cuales una vez eclosionados son cuidados afanosamente por ambos progenitores.

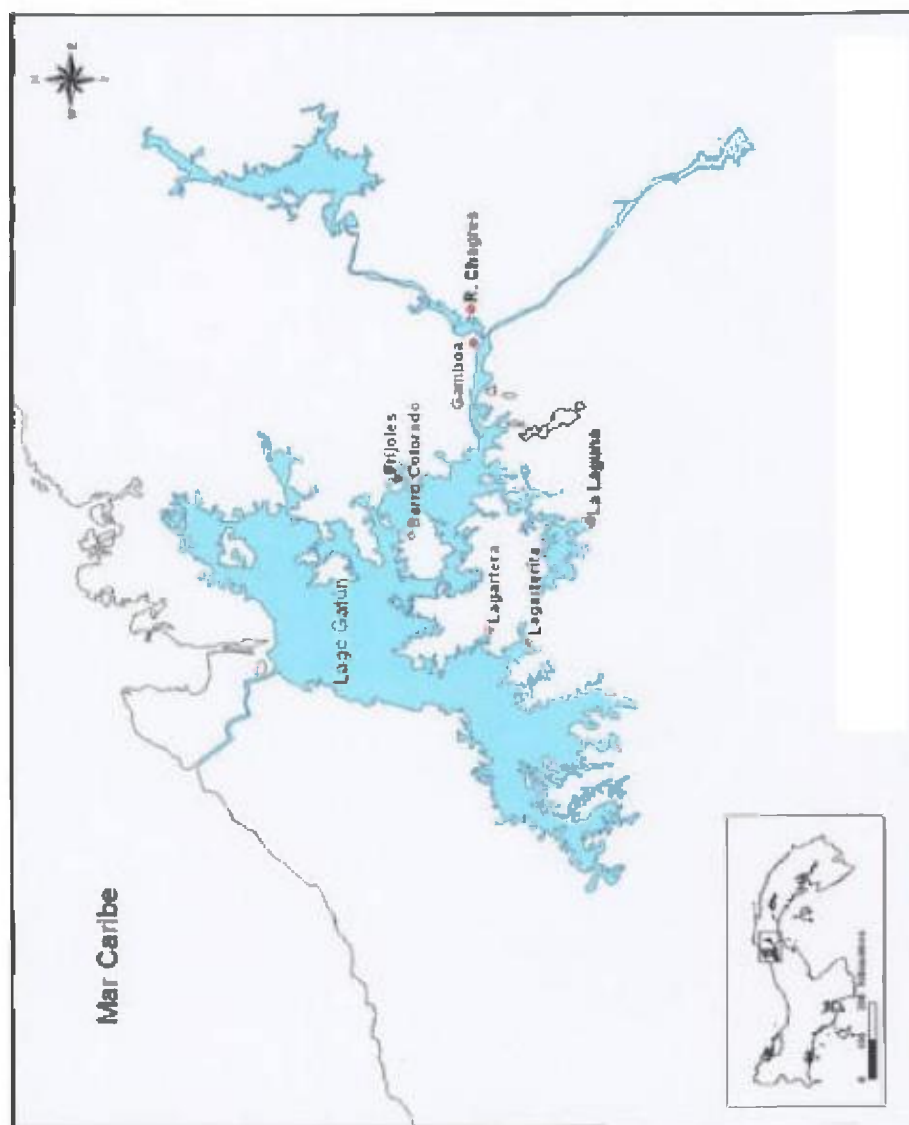


Fig. 2. Distribución del festivo en el Lago Gatún.

En la actualidad, con nuestras escasas observaciones y con la ausencia de un estudio detallado de la especie, no podemos dar una evaluación sobre el impacto de su entrada a las aguas del Canal de Panamá, razón por la cual, sugerimos realizar un estudio completo de su historia natural en este ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a los guías de pesca del muelle de Gamboa, a los pescadores deportivos y artesanales de La Laguna, Lagartera Grande y Lagarterita, por la información suministrada. En especial agradezco al Sr. Salomé Rodríguez, por la captura de los especímenes y guía durante los recorridos en Lagartera Grande y Lagarterita. Finalmente, quiero agradecer al Dr. Rafael Samudio, por la fotografía de la especie y a la Lic. Gretel Grajales y al Lic. Felix Rodríguez, por su ayuda en la confección del mapa.

REFERENCIAS

González, R. 1995. Estado de los peces introducidos en las aguas continentales de Panamá. Brenesia N° 43 – 44: 55 – 59.

Keith, P., P.Y. Le Bail & P. Planquette. 2000. Atlas de poissons d'eau douce de Guyane. Tome 2- fascicule 1. Publications Scientifiques du M.N.H.N., Paris. 285 p.

Kullander, S.O. & M.C. Silfvergrip. 1991. Review of the South American cichlid genus *Mesonauta* Günther (Teleostei, Cichlidae) with descriptions of two new species. Revue Suisse Zool. 98 (2): 407 – 448.

Leibel, W.S. 1993. A fishkeeper's guide to Southamerican cichlids. First Edition. Tetra Press. Belgium. 79 p.

Sakurai, A., Y. Sakamoto & F. Mori. 1993. Aquarium fish of the world - the comprehensive guide to 650 species. Chronicle Books. San Francisco. U.S.A. 288 p.

Recibido diciembre de 2004, aceptado febrero de 2006.



EI PROYECTO HIDROELÉCTRICO FORTUNA EN LA ACTUALIDAD

Jorge A. Mendieta

Universidad de Panamá, Departamento de Botánica.

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico Fortuna con su capacidad generadora de 300 MW es la segunda en importancia en nuestro país, representando el 20% de la capacidad instalada. Este proyecto tiene su origen en la necesidad de enfrentar una crisis energética iniciada por el aumento en el costo del petróleo en la década de los años 60 y fue parte de una estrategia para producir energía eléctrica a un menor costo. En la actualidad, Panamá se enfrenta a una situación similar a la que originó la construcción de este proyecto: aumento del costo del petróleo y dependencia de la energía térmica. Por otro lado, la superficie de bosques naturales de nuestro país está disminuyendo en forma acelerada provocando la pérdida de oportunidades de uso en el futuro. Ante esta situación, el Proyecto Hidroeléctrico y la Reserva Forestal Fortuna se constituyen en un pilar para el desarrollo nacional.

PALABRAS CLAVES

Proyecto hidroeléctrico, energía, reserva forestal, biodiversidad.

ABSTRACT

The Fortuna Hydroelectrical Project has a 300 MW generation capacity and represents the second largest in Panama, contributing with 20% of the electricity production. This project was conceived during the 1960's when an energy crisis developed because of the increasing prices of the oil. Forty five years later, Panama is facing a similar situation. At the same time, rainfall-forest cover is rapidly declining in Panama limiting the possibility for their use in the next future. Because of both situations, the implementation of the Fortuna Hydroelectrical Project and the Fortuna Forest Reserve represent a step further in the development of the Republic of Panama.

KEYWORDS

Hydroelectric project, energy, forestry reserve, biodiversity.

INTRODUCCIÓN

El mundo actual depende principalmente de los hidrocarburos fósiles como fuente energética. La mayoría de las actividades de producción, transporte y comercialización requieren directa o indirectamente de esta fuente del petróleo como fuente de energía. Considerando que nuestro país no es productor de petróleo, la necesidad de dicha fuente de combustible lo expone en una condición de dependencia y vulnerabilidad. Esta situación se ha hecho sentir desde la década de los años 60, con los aumentos en el precio del petróleo, por esto desde hace aproximadamente tres décadas se planteó la necesidad de desarrollar políticas energéticas que nos libere de tal dependencia y que asegure fuentes de energía de menor costo. Como parte de dichas políticas, a principios de la década de los 70, se construyeron en el país varias hidroeléctricas: Bayano, La Yeguada y Estrella – Los Valles. En adición a los proyectos mencionados, en esa época inicia operaciones el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna, que se convirtió inmediatamente en uno de los pilares más importantes como fuente de energía eléctrica en nuestro país (Adames 2005).

Hoy día, después de casi 30 años, el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna sigue siendo parte fundamental del desarrollo nacional y fuente importante de la energía que requiere el país para su desarrollo. Más aún, el futuro parece indicar que este Proyecto Hidroeléctrico cobrará mayor importancia, ya que la energía térmica se hace cada día más costosa. En el caso de la producción de electricidad por plantas térmicas, el aumento del costo del combustible fósil encarece las actividades que dependen de ésta: uso doméstico, industrial y comercial.

EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO FORTUNA EN SUS ORÍGENES

El Proyecto Hidroeléctrico Fortuna se encuentra localizado en las tierras altas de la provincia de Chiriquí, en el Corregimiento de Hornito, Distrito de Gualaca. Este Proyecto Hidroeléctrico tiene una capacidad instalada de 300 MW, lo que representa en la actualidad el 20 % de la capacidad instalada en el país. Con esta capacidad instalada, Fortuna es la segunda en importancia como fuente de energía eléctrica en nuestro país (Ente Regulador de los Servicios Públicos 2006).

Este proyecto hidroeléctrico tiene sus orígenes a fines de la década de los años 60, como una respuesta del alza de los precios del petróleo. En esa época, los precios del barril de petróleo fueron incrementados drásticamente. Ante esta situación, el gobierno nacional planteó como respuesta una política energética del Nacional basada en la producción de energía eléctrica a menor costo. La estrategia para lograr los objetivos se basó en utilizando los recursos hídricos disponibles en nuestro país, la cual proponía liberar el país de la dependencia del petróleo y sus alzas en el costo. Como uno de los elementos importantes de desarrollo hidroeléctrico, entre 1978 y 1984 se construye y entra en operaciones el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna (Adames 2005).

Simultáneamente en esa época, tal vez previendo la importancia del potencial hídrico del área, el Gobierno Nacional decide proteger los bosques de esta zona. En consecuencia, los terrenos que forman el área de captación de agua del embalse del proyecto hidroeléctrico fueron incluidos como parte del complejo de áreas protegidas del país. Esta área fue declarada Reserva Forestal Fortuna, mediante el Decreto Ley N° 68 del 21 de septiembre de 1976 (Castillo 2002). Esta Reserva está constituida por una superficie aproximada de 19,500 hectáreas. Debido al alto grado de diversidad de ecosistemas y especies, la Reserva Forestal Fortuna forma parte de la Reserva de la Biosfera La Amistad, junto con el Parque Internacional la Amistad, el Parque Nacional Volcán Barú y la Reserva Forestal de Palo Seco (ANAM 2006).

EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO FORTUNA EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad, inicio del año 2006, Panamá se encuentra en una situación parecida a la vivida a finales de la década de los años 60. Todavía el país depende de combustible fósil, para llevar adelante las diversas actividades relacionadas con el desarrollo nacional. El precio del barril de petróleo ha aumentado en forma drástica y la tendencia en el comportamiento de éste parece mantenerse en el futuro próximo. Por otro lado, aunque en los últimos 30 años se ha avanzado en materia de desarrollo hidroeléctrico, todavía el 48 % de la capacidad instalada para generar electricidad en el país se basa en plantas térmicas. Un hecho que enfrenta el país es el aumento constante de la demanda de energía para las diversas actividades en la producción, transporte y

comercialización. Actualmente, la tendencia es a suplir el aumento de la demanda de electricidad mediante la construcción principalmente de plantas térmicas y en menor grado con pequeñas hidroeléctricas (Ente Regulador de los Servicios Públicos 2006).

Si bien es cierto que la capacidad instalada para producir energía eléctrica es superior a la demanda, también es cierto que el aumento se ha basado en la generación a través de plantas térmicas. Por lo tanto, el mantenimiento en condiciones óptimas de las plantas hidroeléctricas es fundamental. Ante este hecho, el mantener en operación el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna es vital para el desarrollo de nuestro país, ya que su capacidad de producción de energía sigue siendo de gran importancia en el ámbito nacional.

En adición a la capacidad de generación del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna, la reserva forestal que complementa el proyecto hidroeléctrico es un elemento importante del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Es que la Reserva Forestal Fortuna por la diversidad de especies que contiene ha sido considerada una zona con alto valor para la humanidad por su diversidad de ecosistemas y especies, además de contener un banco genético inestimable.

Si consideramos que la superficie de bosques naturales en nuestro país disminuye a un ritmo anual superior a las 50,000 hectáreas y que existen aproximadamente 3 millones de hectáreas, es fácil concluir que nuestros bosques naturales están condenados a desaparecer. En consecuencia, la Reserva Forestal Fortuna, además de asegurar el abastecimiento de agua al proyecto hidroeléctrico, es importante contar en el futuro con sus bosques por el de un alto valor científico, educativo y con gran potencial para la búsqueda de nuevas posibilidades para la obtención de productos naturales.

REFERENCIAS

Adames, A. 2005. La Hidroeléctrica Edwin Fábrega (Fortuna): una experiencia en manejo de cuencas hidrográficas. *Tecnociencia*, 6(2): 187-197.

Adames, A. 1977. Evaluación ambiental y efectos del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna. Revista Lotería N° 254-255-256, Abril-Mayo-Junio. 538 p.

Autoridad Nacional del Ambiente. ANAM. 2006.
<http://www.biodiversidad@anam.gob.pa>

Castillo, M. 2002. Auditoría y plan de adecuación y manejo ambiental del complejo Hidroeléctrico Fortuna y su Reserva Forestal.

Ente Regulador de los Servicios Públicos. 2006. Estadísticas.
<http://www.ersp.gob.pa>

Recibido octubre de 2005, aceptado enero de 2006.