

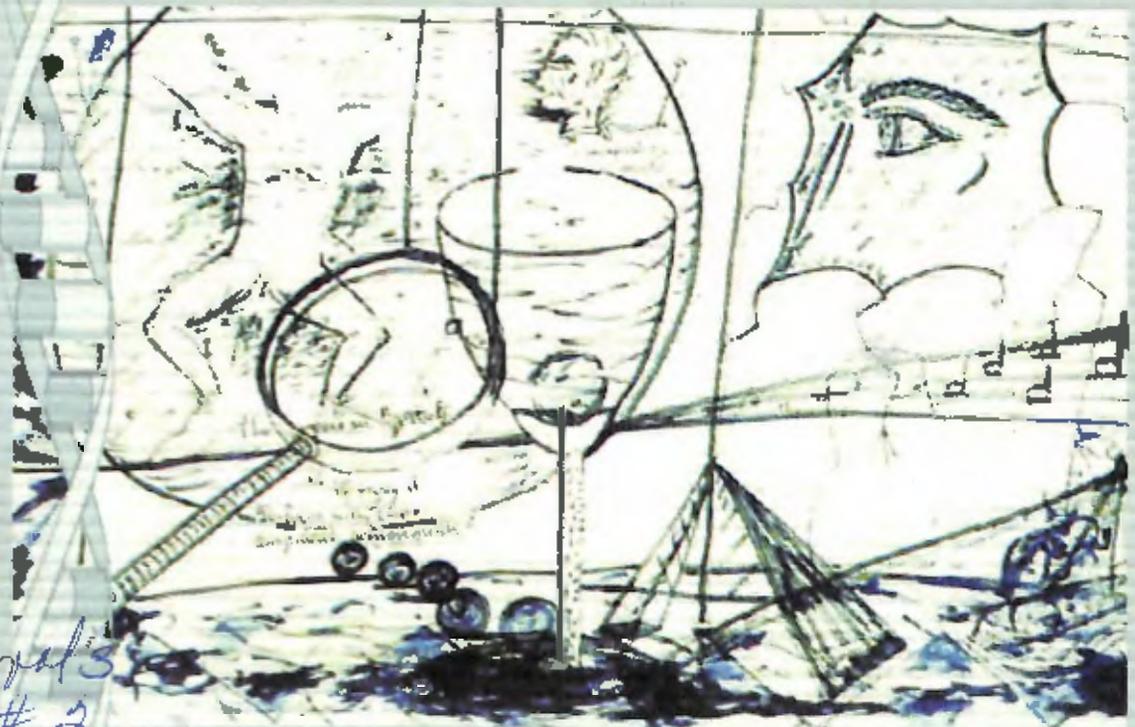
ISSN 1609-8102



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

TECNOCIENCIA

Volumen 3, Nº 2



*Vol 3
2
2001
L.3*

Revista de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.
Universidad de Panamá, noviembre del año 2001.



ESTUDIO DE LAS POBLACIONES DE CHIRÓPTEROS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ.

Percis A. Garcés, Carmen Medina y Alexander Montero

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

RESUMEN

Los predios de la Universidad de Panamá en los últimos diez años han experimentado cambios profundos por la eliminación de árboles para facilitar las construcciones de nuevas edificaciones y vías de acceso. Razón por la cual la escasa fauna que allí habita puede estar disminuyendo por la pérdida de hábitats, refugios o sitios de alimentación. Para determinar los efectos de estos cambios en el medio, se llevó a cabo el presente estudio del 6 de octubre al 21 de noviembre del 2000. Para ello se colocaron dos redes, las cuales permanecieron abiertas en el periodo comprendido de 6:00pm a 10:00pm, durante seis muestreos. En total se atraparon 59 murciélagos, los cuales están incluidos en tres especies a saber, *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus lituratus* y *Uroderma bilobatum*. La especie más frecuentemente atrapada fue *Artibeus jamaicensis* con 29 individuos, de los cuales 15 fueron hembras juveniles. Seguido de *Artibeus lituratus* con una representación de 28 ejemplares, de éstos 15 fueron hembras en edad adulta. Y por último, la especie *Uroderma bilobatum* con sólo dos hembras juveniles. Simultáneamente a la captura de murciélagos, se recolectaron los ectoparásitos que éstos presentaban. De ellos se extrajeron un total de 100 de ejemplares, los cuales fueron agrupados en cuatro especies. Atendiendo al orden en que aparecieron, la *Speiseria ambigua* (Streblidae) fue la más abundante entre los murciélagos, tanto en fase adulta (todos ejemplares hembras) como en la fase de huevo. Seguido de los Streblidae *Megistopoda aranae*, con cinco ejemplares y *Trichobius yunkerii* con sólo un ejemplar encontrado en *U. bilobatum*. Y por último, el ácaro *Periglischrus iheringi* representado con 18 ejemplares, mayormente localizado en *A. lituratus* y *A. jamaicensis*.

PALABRAS CLAVES

Murciélagos, Chiroptera, poblaciones, especies, condición reproductiva, ectoparásitos, capacidad de carga.

INTRODUCCIÓN

La palabra "Chiroptera" proveniente de la voz griega que significa "con alas en las manos" y sinónimo de la voz castellana "murciélagos" Cabrera et al. (1972), y constituyen el grupo de mamíferos primitivos que poseen el verdadero dominio del vuelo y quienes han desarrollado una extraordinaria diversidad ecológica, representando el grupo más numeroso en especie, con más de 940 dispersas en distintos sitios del planeta (Tuttle 2000).

Según Samudio (1985) en Panamá se han reportado 105 especies de murciélagos repartidos en 10 familias, superando éstos en número al de los roedores. En el Neotrópico, los murciélagos son numéricamente más abundantes que otros grupos de mamíferos e igual o mayor que todas las aves frugívoras (Bonaccorso 1979, Terborgh 1983). Por su dramática ecología y su radiación evolutiva, los murciélagos ocupan virtualmente todos los niveles tróficos, desde consumidores primarios hasta terciarios. Estos se alimentan de frutos, insectos, néctar, polen, pescado, sangre, vertebrados y hojas, y en muchos casos seleccionan hábitats específicos (Hill & Smith 1985, Fenton 1992). Adicionalmente, son importantes en los procesos ecológicos como agentes dispersadores de semillas, polinizadores y reguladores de las poblaciones de insectos (Fleming 1988, 1993, Whitaker 1993, Medellín & Gaona 1999). Por lo que, la alteración de sus hábitats por efecto de las acciones antropógenicas puede resultar en la afectación parcial o completa de todas las actividades ecológicas que estos realizan en el medio. La evaluación de estos disturbios, en los patrones ecológicos son difíciles de determinar, y por ello es necesario reorientar los propósitos conservacionistas, y en el caso específico de los murciélagos, emplearlos como indicadores biológicos. Siendo así, ellos podrían tener un papel más funcional en los ecosistemas y responder a los cambios ambientales cuantitativamente (Noss 1990, Moony et al. 1995). Por cuanto

que, las especies indicadoras podrían ser empleadas para determinar el estado de salud de los ecosistemas (Rapport et al. 1981, Rapport 1990, Keddy 1991). En este sentido, nuestro estudio de las comunidades de murciélagos en el Campus Central de la Universidad de Panamá pretende evaluar la composición y frecuencia de especies, dado que en los últimos diez años se han producidos grandes modificaciones estructurales, lo que ha ocasionado la grave pérdida de la vegetación y la urbanización de estas áreas; de igual forma se determinó la frecuencia de ectoparásito más asociados con los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Campus Central de la Universidad de Panamá, se encuentra localizado en el Corregimiento de Bella Vista, Provincia de Panamá. Comprende un área de aproximadamente 22.5 ha. ubicada entre las coordenadas geográficas 8°58'49" y 8°59'15" LN y 79°31'52" y 79°32'7" LO. El área se halla delimitada por las vías Simón Bolívar (Transistmica) al norte, la Ave. Manuel Espinosa Batista al oeste y la Ave. 3^a Norte José de Fábrega al Sur. Entre los 20 y 50m sobre el nivel del mar.

Los murciélagos fueron capturados mediante la utilización de dos redes nieblas japonesas de 12 x 2.5m, las cuales se colocaron a una altura de casi 0.25m en diferentes sitios del Campus Central a saber: Facultad de Ciencias, Facultad de Medicina, la colina y arquitectura. Las mismas permanecieron abiertas de 6:00 p.m. a 10:00 p.m.

Los ejemplares atrapados se identificaron hasta especie con la clave de Handley (1981). Adicionalmente, se les tomó información sobre sexo, condición reproductiva (visualizando la presencia de testículos escrotados en machos y la condición de las mamas en las hembras); edad (dependiendo de la condición reproductiva y el grado de deterioro de la dentadura de los ejemplares y el número de ectoparásitos asociados (recolectando los ejemplares o bien registrando la cantidad y especie observada). Los ectoparásitos fueron enviados al Museo de

Invertebrados de la Universidad de Panamá, localizado en la Escuela de Biología para su posterior identificación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los seis muestreos, y con una intensidad de esfuerzo de 48 horas / red, se logró atrapar un total de 59 ejemplares, todos incluidos en la familia Phyllostomidae, en dos géneros y tres especies. Siendo *Artibeus jamaicensis* (49%) la especie más frecuente con 29 ejemplares, de los cuales 15 eran hembras y 14 machos; seguido de *Artibeus lituratus* (47%) con 28 ejemplares, 15 de los cuales fueron hembras y 13 machos. Por último *Uroderma bilobatum* (4%) con sólo 2 ejemplares hembra (Gráfica 1).

Observamos que nuestros resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Gómez et al. (1997), quienes efectuaron un estudio similar en los predios de la Facultad de Medicina y reportaron la presencia de cinco especies de murciélagos a saber: *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus lituratus*, *Molossus molossus*, *Lasiurus castaneus* y *Vampyrops helleri*. Es importante mencionar que en este primer trabajo se encontraron tres especies que no fueron registradas en el presente estudio. A pesar de esto, al comparar ambos resultados sobresale el hecho que nosotros capturamos más murciélagos, es decir, 59 y 56 respectivamente. Sin embargo, a nivel de la intensidad de esfuerzo fue evidente que tuvimos que incrementar los muestreos, tres más, y aumentar el área de estudio. Mientras que ellos sólo trabajaron en los predios de la Facultad de Medicina. De acuerdo con estos resultados, pudiera estarse dando una posible disminución de las comunidades de murciélagos en el Campus Central,¹ debido a que justamente detrás la Facultad de Medicina se ha construido la vía Gustavo García de Paredes, para lo cual se tuvo que talar algunos de los árboles que allí permanecían. Adicional a estos cambios,

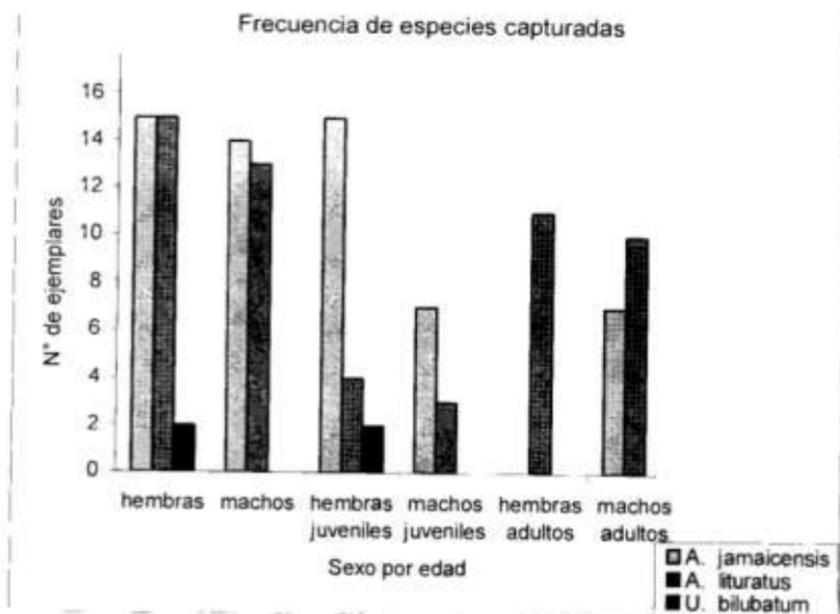
¹Gómez, F., I. Pinto, J. Arango, M. Salazar, B. Pizza & D. Ubarte. 1997. Estudio de los murciélagos en un área del campus universitario. (Informe final).

actualmente se han estado incrementado las áreas de estacionamiento y sitios luminosos en el Campus Central, lo que también parece estar contribuyendo a disminuir la ruta de vuelo de los murciélagos y en consecuencia estos deberán desplazarse hacia otras áreas o en nuevas direcciones.

En ambos estudios las especies más frecuentemente capturadas fueron *Artibeus lituratus* y *Artibeus jamaicensis*, las que se caracterizan por ser principalmente frugívoras. De modo que la conservación de árboles frutales en los medios urbanizados como el que estudiamos, pudiera en cierta forma favorecer la permanencia de estas especies en áreas perturbadas. De hecho, el acelerado ritmo de deforestación que estamos experimentando en los últimos 20 años, nos presagia que, en igual proporción estaremos perdiendo especies habituales en los medios boscosos, las que para poder sobrevivir tendrán que adaptarse a las nuevas condiciones del medio urbano.

En síntesis, nuestros resultados definen claramente que dos especies (*Artibeus lituratus* y *A. jamaicensis*), que en la práctica son frecuentes en el medio boscoso, también lo serán en el medio urbano; hecho que asegura su sobrevivencia.

En el caso de las especies *Molossus molossus* y *Vampyrops helleri*, ambas de hábitos insectívoros ocupan hábitats diferentes. La primera frecuentemente puede habitar dentro de las viviendas, mientras que la segunda es de ambiente fundamentalmente boscoso. Por lo que, a pesar de que en la práctica los cambios que se han producido deberían favorecer el incremento de las poblaciones de *Molossus* en la naturaleza, esto no ha ocurrido así, al menos durante nuestro estudio. En tanto que la especie *Vampyrops helleri*, dado que su ambiente natural se ha visto alterado, es probable que lo mismo haya ocurrido con su población. En esencia, las especies habituadas al medio boscoso tendrán más dificultades para sobrevivir en el medio controlado por el hombre.



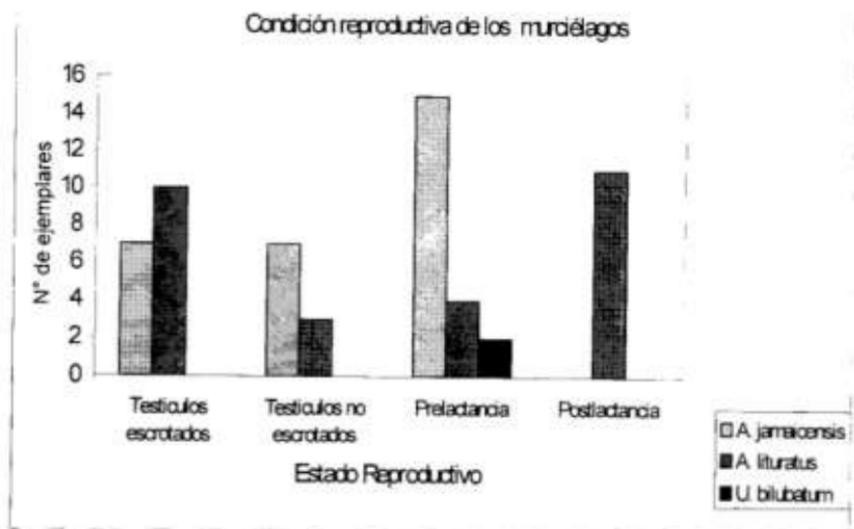
Gráfica 1. Total de especies y número de ejemplares capturados.

En cuanto a la edad fisiológica y condición reproductiva de estos murciélagos, se observó que la etapa juvenil fue la que predominó en el caso de *A. jamaicensis* (Gráfica 2) al presentar 22 ejemplares juveniles, coincidiendo con lo obtenido por Gómez et al. (1997) quienes obtuvieron 14. En nuestro estudio se atraparon 15 hembras prelactantes. Mientras que en el caso de *Artibeus lituratus* observamos que los ejemplares adultos estuvieron mejor representados, lo cual también fue similar a lo reportado por Gómez et al. (1997). En nuestro estudio se atraparon 21 ejemplares adultos, de los cuales 10 fueron machos con testículos escrotados y 11 hembras postlactantes (Gráfica 2).

La evidencia de estas hembras atrapadas permite inferir que en los meses de junio hasta agosto podría estar ocurriendo el proceso de reproducción. Mientras que en los meses de octubre y noviembre encontramos a hembras adultas postlactantes que aún conservan algo de leche en sus mamas.

En este sentido, acotamos que de estarse dando algunas transformaciones en el medio por acción antropogénica, estas dos especies de murciélagos aun encuentran las condiciones mínimas requeridas para su reproducción y conservación. Estas condiciones son: la disponibilidad constante de alimento obtenido de árboles de almendra (*Terminalia catappa*), guarumo (*Cecropia peltata*), e higuerón (*Ficus insipida*) espacios o refugios (para descansar), bajos niveles de competencia (bajo o escaso número de especies frugívoras) y baja depredación. Es probable que el tipo de dieta sea uno de los requerimientos más conspicuo que ayude a explicar la presencia de *Artibeus* en el Campus Central. En este sentido, los *Artibeus* fueron observados frecuentemente alimentándose de los frutos de almendra o arrancándolos, igual acción fue observada en algunos ejemplares capturados con semillas de guarumo en el rostrum. Como bien se conoce, el ciclo reproductivo de las especies está asociado con una adecuada disponibilidad de alimento, aunque en nuestro sitio de estudio para ésta fecha, los frutos del árbol de almendra estaban en franca declinación.

Existe una relación consistente de asociación entre los patrones de la estructura vegetal y la estructura de los atributos básicos de las comunidades de murciélagos. Así por ejemplo, la disminución de la foresta (grandes disturbios) conlleva a bajos valores en la diversidad de murciélagos (Medellin et al. 2000). En el caso particular de la subfamilia Phyllostominae, ésta contiene un grupo de especies sensibles que tienden a estar poco representada en áreas perturbadas, lo que probablemente se debe al grado de especialización de estos murciélagos en sus dietas como algunos que son exclusivamente carnívoros, insectívoros u otros que utilizan nichos como las superficies de las hojas (Belwood 1988), cuevas; algunos requieren de hojas de *Heliconia*, nidos de termitas, huecos de árboles grandes y hojas sombreadas en forma de carpa, o una amplia variedad de cuevas (Timm 1987, Fenton, 1992).



Gráfica 2. Condición Reproductiva Vs especies

En el medio natural los murciélagos también sirven como hábitat a una extensa población de ectoparásitos; así pues, en el presente estudio recolectamos 100 de estos ejemplares (tanto adultos como huevos). De los cuales solamente 62 fueron examinados por tratarse de las mismas especies. A continuación detallamos las especies encontradas: *Speiseria ambigua*, *Megistopoda aranae* y *Trichobius yunker*, de la Familia Streblidae y el ácaro *Periglischrus iheringi* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Frecuencia de ectoparásito en los murciélagos.

	<i>Speiseria ambigua</i>			<i>Megistopoda aranae</i>			<i>Trichobius yunkeri</i>			<i>Periglischrus iheringi</i>	TOTAL
	H	M	HV	H	M	HV	H	M	HV		
<i>A. jamaicensis</i>	2	0	17	4	0	0	0	0	0	8	31
<i>A. lituratus</i>	12	0	6	1	0	0	0	0	0	10	29
<i>U. bilibatum</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
TOTAL	15	0	23	5	0	0	0	1	0	18	62

H: hembras.

M: machos

HV: huevos

Al evaluar la presencia de ectoparásitos en los murciélagos, se determinó la especie y la frecuencia de la misma en la comunidad de estos mamíferos. Por lo que, su capacidad de carga está determinada por el número de ectoparásitos que puede soportar un ejemplar. Es obvio, que esta capacidad puede estar determinada por factores ecológicos, reproductivos y etológicos de las distintas poblaciones de murciélagos y de Streblidae. Así por ejemplo, se logró obtener el mayor número de ectoparásitos en dos murciélagos machos juveniles de *A. jamaicensis* que tuvieron 12 individuos cada uno, mientras que el mayor número de ectoparásitos para *A. lituratus* correspondió a una hembra adulta con 11 ejemplares. A pesar de que en algunos murciélagos se registró una considerable cantidad de ectoparásitos, también es bueno mencionar que no todos tenían ectoparásitos. Por lo que pudiera deberse a que en el refugio de estos, los niveles de infestación al momento eran bajos, y en consecuencia los jóvenes no estaban muy parasitados. De hecho, muchos murciélagos que comparten el mismo refugio pudieran compartir los mismos ectoparásitos por la proximidad en que se ubican en las colonias o por la acción de acicalamiento o a través del reconocimiento entre sus miembros que muchas especies practican.

Nuestras observaciones preliminares relacionadas con este tema exhiben aspectos interesantes, como lo es el hecho de que el número más alto de huevos de *Speiseria ambigua* se encontró en *A. jamaicensis*, que resulto ser del grupo de murciélagos jóvenes. Lo que podría deberse a que probablemente estos ejemplares fueron colonizados recientemente y, por ende, la presencia de huevos está sujeta a una colonización y/u ovipostura reciente o por hembras que en etapa fértil acaban de infestar a los murciélagos jóvenes. Estudios más específicos realizados por Wenzel et al. (1966) asocian a *Speiseria ambigua* con otras especies de murciélagos a saber: *Carollia perspicillata*, *Carollia subrufa* y *Vampyrops vittatus*. Pero además la asocian en forma transitoria a otras especies como: *Lonchorhina aurita*, *Phyllostomus hastatus*, *Trachops cirrhosus* y *Artibeus lituratus*.

Por otro lado, *A. lituratus* presentó el mayor número de hembras adultas de *S. ambigua* (12) resultado que en igual circunstancia pudiera estar también relacionado con el estado adulto de esta muestra de murciélagos.

Así pues, resulta evidente que en condiciones naturales pudiera ocurrir algún grado de asociación específica entre las especies de murciélagos y los ectoparásitos, al menos esto parece ocurrir entre los ejemplares atrapados. Tal como se encontró en el Streblidae *Megistopoda aranae* que fue más común en *A. jamaicensis* que en las otras dos especies de murciélagos. De acuerdo con Wenzel et al. (1966), este Streblidae también ha sido encontrado en los murciélagos *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus lituratus*, *Phyllostomus discolor* y *Carollia perspicillata*. En cuanto a estas dos últimas especies de murciélagos, los autores indican que su presencia fue accidental.

En nuestro estudio *Trichobius yunkerii* sólo se recolectó en la especie *U. bilobatum*. Con relación a esta especie de ectoparásito, se conoce que la misma ha sido también reportada en otras especies de murciélagos como: *Pteronotus parnellii*, *Lonchorhina aurita*, *Sturnira ludovici*, *Carollia perspicillata* y *Artibeus lituratus* (Wenzel et al. 1966). Aunque su incidencia en *Sturnira ludovici* y *Artibeus lituratus* parece ser accidental. Y por último, el ácaro

Periglischrus iheringi fue común tanto en *A. jamaicensis* como en *A. lituratus*.

Por todo lo anterior, se desprende que *Speiseria ambigua* es el streblidae más común en los *Artibeus* del Campus Central, y que aun cuando en algunos casos pareciera existir algún grado de asociación, ésta no está claramente establecida debido a que durante el manejo de los murciélagos en la red algunos estreblidos pueden abandonar a su huésped natural e invadir el cuerpo de otros murciélagos al quedar atrapados en la red. No obstante, es muy probable que algunas especies de murciélagos estén sirviendo de hábitats a por lo menos 2 ó 3 especies de ectoparásitos y esta probabilidad se puede incrementar si desaparecen del medio sus hospederos naturales. Esto al menos fue lo que observamos en *A. jamaicensis* y *A. lituratus* que sirven como hábitat a tres especies de ectoparásitos.

CONCLUSIONES

Durante el presente estudio se atraparon tres especies de murciélagos a saber: *Artibeus jamaicensis* con un total de 29 ejemplares, seguido de *Artibeus lituratus* con 28 y *Uroderma bilobatum* con dos.

En cuanto a la edad fisiológica, se obtuvo que en la etapa juvenil predominó en la especie *A. jamaicensis*, mientras que la adulta estuvo mejor representada en la especie *A. lituratus*. Tres especies de streblidae fueron registradas en orden ascendente, *Speiseria ambigua*, *Megistopoda aranae* y *Trichobius yunkerii*; y el ácaro *Periglischrus iheringi*. Tanto *A. jamaicensis* como *A. lituratus* pueden servir de huéspedes a por lo menos tres ectoparásitos diferentes.

La especie *Uroderma bilobatum* fue la que presentó el rango de distribución más restringido y la única que presentó al ectoparásito *Trichobius yunkerii*.

ABSTRACT

It is think that the fauna that inhabite in the University of Panama's areas have decreased due to great changes have ocurred due to elimination of trees to build new buildings and access streets. These investigation was carried out during October 6 to November 21 2000in order to determine the effects of these changes in the environment. To achieve this goal we set two miss nets from 6:00 pm to 10:00 pm during six night. In this study wet caught three bats species: *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus lituratus*, and *Uroderma bilobatum*. The most abundant specie was *A. jamaicensis* with 29 individuals (15 young females). *A. lituratus* was the following most frequent specie with 28 (15 mature females). Only two young females of *Uroderma bilibatam* was collected. Besides, four Streblids species of ectoparasites from the bats was collected.: *Speiseria ambigua* (Streblidae) which was the most frequent, *Megistopoda aranae*, *Trichobius yunkeri* and the acarín *Periglischrus iheringi*.

KEY WORDS

Chiroptera, populations, species, reproductive conditions, ectoparasite, load capacity.

REFERENCIAS

Belwood, J. 1988. Foraging behavior, prey selection, and echolocation in phyllostominae bats (Phyllostomidae). En: P. E. Nachtigall & P.W. B. Moore, (Eds). Animal sonar. Plenum Press, New York.

Bonaccorso, F. 1979. Foraging and reproductive ecology in a Panamanian bat community. En: The Florida State Museum, Biological sciences bulletin 24. The Florida State Museum, Gainesville.

Cabrera, A., J Maluquer & L. Lozano. 1972. Historia Natural: Vertebrados. Tomo 1. Instituto Gallach. Barcelona, España 33-39 pp.

Fenton, M., L. Acharya, D. Audet, M. Hickey, C. Merriman, M. Obrist, D. Syme & B. Adkins. 1992. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. Biotropica 24: 440 – 446.

Fleming, T. 1988. The short-tailed fruit bat. University of Chicago Press, Chicago.

Handley, C. O. Jr. 1981. Key to the bats of the lowlands of Panama. U.S. Natl. Mus. Washington, D.C. 17 pp.

Hill, J. & J. Smiths. 1985. Bats, a natural history. Texas University Press, Austin, E.U.

Medellin, R. & O. Gaona. 1999. See dispersal by bats and birds in forest and disturbed habitats in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 31: 432-441.

Medellin, R., S. Walker & M. Tuttle. 2000. Conservación en América Latina, murciélagos, de la superstición al conocimiento de su utilidad ecológica. National Geographic. Septiembre 2000.

Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo & O. Sala. 1995. Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles. En: V. Heywood, (Ed.). Global biodiversity assessment. United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Noos, R. 1990. Indicator for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservations Biology* 4: 355-364.

Rapport, D. 1990. What constitutes ecosystem health? *Perspectives in Biology and Medicine* 33: 120-132.

Rapport, D., J. Regier & C. Thorpe. 1981. Diagnosis, prognosis, and treatment of ecosystems under stress. En: G. W. Barrett & R. Rosenberg, (Eds). Stress effects on natural ecosystems. Wiley, Shichesters, United Kingdom.

Samudio, R. 1985. Contribución de los murciélagos de la familia Phyllostomidae a la conservación del Parque Nacional Soberanía en la República de Panamá. Trabajo de graduación de Licenciatura. Universidad de Panamá 32 pp.

Terborgh, J. 1983. Five New World primates. A study in comparative ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Timm, R. 1987. Tent construction by bats of the genera *Artibeus* and *Uroderma*. *Fieldiana Zoology* 39: 187-212.

Wenzel, R., V. Tipton & A. Kiewliaz. 1966. The Streblidae batflies of Panama (Diptera Calyptera: Streblidae) En: R. Wenzel & V. J. Tipton, (Eds.) Ectoparasites of Panama. Field. Museum of Natural History.

AGRADECIMIENTO

Al Director del Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá, Dr. Víctor H. Tejera, por su apoyo para la obtención del equipo de trabajo. De igual forma, al Personal del Museo de Invertebrados, Graham Fairchild B; especialmente al Lic. Alonso Santos y al Lic. Roberto Cambra, por su valiosa contribución en la identificación de los ectopárasitos.

Recibido abril del 2001, aceptado mayo del 2001.



DATOS METEOROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ DURANTE EL SIGLO XIX Y SU APLICABILIDAD A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Alfonso Pino¹; Jorge Espinosa²

¹Universidad de Panamá; Departamento de Física; e-mail: apino@sinfo.net

²Autoridad del Canal; Departamento de Hidrometeorología;
e-mail: eieh-je@pancanal.com

RESUMEN

La temperatura media de la superficie del planeta ha aumentado de 0.3 °C a 0.6 °C en el último siglo. De continuar este calentamiento, toda la vida se verá afectada. Según el informe GIEC (1995), nuevos análisis de datos proxy para el Hemisferio Norte indican que es altamente probable que el incremento en la temperatura superficial media del planeta durante el siglo XX haya sido el más alto de cualquier siglo durante los últimos mil años. Es también altamente probable que, en el Hemisferio Norte, la década de 1990 haya sido la más cálida y que 1998 hubiese sido el año más cálido desde 1861. En años recientes se han combinado datos sobre la temperatura superficial de los océanos con datos sobre la temperatura en la superficie terrestre a fin de obtener una imagen más confiable de los cambios globales medios. La finalidad del presente trabajo es la de estudiar los posibles cambios del clima, a través del comportamiento de la precipitación en la Cuenca del Canal de Panamá. Con este fin se rescató la información de precipitación existente desde el siglo XIX para esta zona. Se presenta un análisis y discusión preliminar del comportamiento de la precipitación registrada en cuatro estaciones de la Cuenca del Canal de Panamá para los últimos veinte años del siglo XIX y todo el siglo XX. Las sequías registradas durante los últimos veinte años del siglo XIX, por las estaciones analizadas, parecen estar asociadas al fenómeno de El Niño. Estos episodios de sequía coinciden también con episodios similares registrados en el territorio mexicano.

PALABRAS CLAVES

Calentamiento global, cambio climático, índice de oscilación del sur, anomalía.

INTRODUCCIÓN

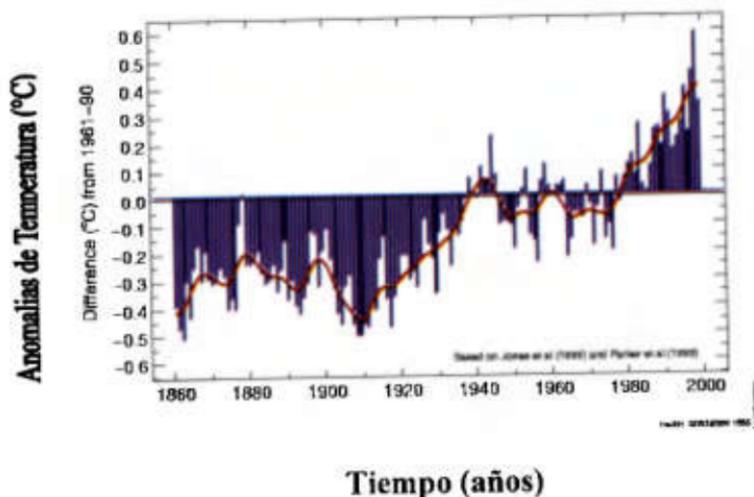
Se ha comprobado que la temperatura media de la superficie del planeta ha aumentado de $0,3^{\circ}\text{C}$ a $0,6^{\circ}\text{C}$ en los últimos cien años (GIEC, 1995). Según dicho reporte, nuevos análisis de datos proxy para el Hemisferio Norte indican que es altamente probable que el incremento en la temperatura superficial media del planeta durante el siglo XX haya sido el más alto de cualquier siglo durante los últimos mil años. Es también altamente probable que, en el Hemisferio Norte, la década de 1990 haya sido la más cálida y que 1998 hubiese sido el año más cálido desde 1861. También se señala en dicho informe que los registros de temperatura superficial media del planeta muestran una gran variabilidad, de forma tal que los episodios cálidos ocurridos durante el siglo XX, se suscitaron durante dos períodos comprendidos de 1910 a 1945 y de 1976 a 2000. Desde hace algunos años se ha estado colectando información relativa a la temperatura superficial de los océanos. Esta información ha sido combinada con datos sobre la temperatura en la superficie terrestre a fin de obtener una imagen más confiable de los cambios globales medios. Paralelamente a los hallazgos del Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre la Evolución del Clima, otros investigadores de esta problemática han encontrado, al analizar los datos mencionados anteriormente, que la temperatura del aire próximo a la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente en $0,5^{\circ}\text{C}$ desde los últimos cien años (T.M.L. Wigley, *Geophysics Research Letters*, 14, 1135-1138, 1987). Los modelos matemáticos denominados "Grandes Modelos de Circulación", los cuales permiten simular matemáticamente los procesos físicos de la atmósfera y de los océanos, predicen que, si este calentamiento continúa, el planeta se vería, irrevocablemente, afectado por un cambio climático. Dicho cambio climático afectaría tanto a los patrones de viento en todo el globo como al ciclo hidrológico. William R. Peltier y A.M. Tushingham (1998), investigadores de la Universidad de Toronto,

encontraron que el nivel de los océanos, a escala global, ha estado aumentando a una tasa de 2 mm por año, a lo largo de las últimas décadas (David Schneider, Scientific American, Volumen 9, N° 3, 1998). Una confirmación adicional del aumento en la elevación de la superficie del océano, ha sido obtenida mediante el satélite TOPEX/Poseidón, el cual lleva consigo dos altímetros radar, orientados hacia el océano. El aumento en el nivel de los océanos mencionado anteriormente, es atribuible al aumento en la temperatura media del planeta.

La gráfica N° 1 muestra las anomalías en las temperaturas medias globales cerca de la superficie terrestre a partir del año 1861. En dicha gráfica se puede apreciar lo planteado en el Reporte del Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre la Evolución del Clima en cuanto a que la década de 1990 ha sido la más cálida desde 1861.

Anomalías de Temperatura Superficial Media del Océano vs Tiempo

Global Average Near-Surface Temperatures
Annual anomalies, 1860 - 1999



Gráfica N° 1
Instituto Goddard de la NASA para Estudios Espaciales

El Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC) ha planteado que "un cambio discernible de influencia humana sobre el clima global ya se puede detectar entre las muchas variables naturales del clima". Según dicho panel, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo. Mientras que la media mundial anual de emisiones de dióxido de carbono se ha incrementado a 1,1 toneladas por habitante (GIEC, 1995). Se estima que los daños relacionados con desastres climáticos llegaron a 60 mil millones de US\$ en 1996.

De acuerdo a la IPCC, una duplicación de los gases de invernadero incrementaría la temperatura terrestre entre 1 y 3,5°C. Aunque no parezca mucho, esto sería equivalente a volver a la última glaciación, pero en la dirección inversa. El aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos cien mil años, haciendo muy difícil que los ecosistemas del mundo se adapten al mismo.

Con el objeto de estudiar los posibles cambios del clima generados por el fenómeno del calentamiento global, se hace necesario el rescate de datos meteorológicos de carácter histórico, los cuales constituyen una importante herramienta de trabajo para establecer si se han producido variaciones estadísticamente significativas en el clima regional. Dentro de esta perspectiva, se han obtenido de la Sección de Meteorología e Hidrografía de la Autoridad del Canal de Panamá datos meteorológicos de 4 estaciones que operaron en lo que es hoy la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Dichas estaciones corresponden a tres períodos históricos panameños de la segunda mitad del siglo XIX, a saber: (a) etapa de construcción y operación del ferrocarril transístmico, (b) primera compañía del Canal Francés y (c) segunda compañía del Canal Francés. La mayoría de dichas estaciones recogían datos de precipitación pluvial, la cual era de suma importancia para los grandes proyectos que se ejecutaban en dicha área. Sin embargo, algunas estaciones también medían otros parámetros atmosféricos, tales como presión atmosférica y temperatura. En el presente trabajo se efectúa un análisis y

discusión del comportamiento de la precipitación registrada en dichas estaciones durante la segunda mitad del siglo XIX. Para la estación de Gamboa, se analizaron, además, los datos de precipitación del siglo XX con el objeto de establecer la ocurrencia de algún tipo de tendencia.

Situación Geográfica de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá tiene una superficie de 3338 km². Aproximadamente el treinta por ciento de la cuenca corresponde a la subcuenca de Alhajuela, la cual está ubicada en la porción noreste de ésta. En esta región se encuentra el Río Chagres, el cual es el principal de la Cuenca del Canal de Panamá. La subcuenca de Alhajuela se encuentra a una latitud entre los 8° 52' y 9° 26' Norte y entre la longitud 79° 29' 30" y 80° 00' Oeste. La misma limita al Norte con la Bahía de Limón en la vertiente atlántica y al Sur con la Bahía de Panamá, en la vertiente del Pacífico. En la entrada Sur del Canal de Panamá se encuentra ubicado el Puerto de Balboa, localizado a 23 millas, hacia el Este de la entrada Norte, próxima al puerto de Cristóbal.

El Istmo de Panamá fue considerado, desde su descubrimiento, como un punto focal para las expediciones que los conquistadores españoles efectuaron hacia el imperio incaico. Ya desde el siglo XVIII se iniciaron exploraciones hidrográficas litorales con miras a encontrar la ruta más factible para la construcción de un canal interoceánico. Estas exploraciones continuaron durante el siglo XIX y, al iniciarse la construcción del ferrocarril transístmico, se establecieron las primeras estaciones meteorológicas. La Compañía del Ferrocarril de Panamá estableció, en la ciudad de Colón, una estación para la medición de la precipitación pluvial, que comenzó a operar a fines del año 1862. Posteriormente, la Compañía del Canal Francés estableció varias estaciones para la medición de la precipitación pluvial a partir del año 1881, cuando iniciaron la construcción de un canal a nivel. Dichas estaciones se ubicaron en Balboa, Colón, Gamboa, Bohío y la isla de Naos. Las estaciones en cuestión fueron descontinuadas al producirse el

colapso económico de la Compañía antes citada. Al reorganizarse la Segunda Compañía del Canal Francés, a partir del año 1894, se establecieron nuevas estaciones. Los datos meteorológicos a cuyo análisis y discusión se encuentra orientado el presente capítulo, corresponden a las estaciones que operaron en Balboa, Colón, Gamboa y Bohío.

Si se sigue el esquema de clasificación climático de Köeppen, la estación de Balboa estaba ubicada en una zona climática **Awi** que corresponde a un clima tropical de sabana, con una precipitación anual inferior a 250 cm. Las estaciones de Gamboa y Bohío estaban situadas en una zona climática **Ari** que describe un clima tropical húmedo, con una precipitación anual superior a 250 cm. La estación de Colón estaba situada en una zona climática **Ali**, que corresponde a un clima tropical muy húmedo, con una precipitación copiosa todo el año.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron datos de precipitación pluvial correspondientes a Balboa, en el litoral Pacífico para el período comprendido de 1879 a 1899. La zona climática a la que pertenece Balboa es la Awi, según la clasificación de Köeppen. La Tabla No. 1 muestra cómo varía la pluviosidad mensual (en cm) a lo largo de los diferentes meses del año.

Tabla N° 1

Precipitación Mensual en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (cm)

Estación de Balboa

	1879	1880	1881	1882	1899
Enero	0.09	4.86	0.42	0	14.37
Febrero	6.45	0.45	0.42	0.3	3
Marzo	14.64	0.42	0.96	0	6.18
Abril	14.1	4.14	8.28	2.52	0.78
Mayo	26.37	11.4	26.55	13.44	24.57
Junio	16.56	12.81	35.34	15.84	21.75
Julio	20.28	25.32	18.45	13.71	21.06
Agosto	18.57	29.37	11.52	10.38	22.05
Septiembre	23.28	20.28	22.92	10.38	15.78
Octubre	25.14	30.27	24.81	17.16	30.75
Noviembre	49.26	16.56	24.93	27.96	22.89
Diciembre	2.52	14.13	6.15	5.16	11.16
Total	217.26	170.01	180.75	116.85	194.34

Los mínimos de pluviosidad mensual se registraron durante los meses de enero, febrero, marzo y abril, los cuales constituyen la estación seca en el Istmo de Panamá (Espinosa, 1999). Los máximos de pluviosidad mensual se registraron durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. El año más seco de este período lo constituyó 1882, con una precipitación anual de 116,85 cm. El año más lluvioso de este período fue 1879, con una precipitación anual de 217,26 cm.

En la Tabla N° 2 se observa el resumen de los datos de precipitación capturados desde el año 1879 hasta el año 1899 en la estación de Balboa.

Tabla No. 2	
Estación de Balboa	
Precipitación Media Mensual Durante el Período de 1879 a 1899	
Meses	Precipitación Media(cm)
Enero	3.95
Febrero	2.12
Marzo	4.44
Abril	5.96
Mayo	20.46
Junio	20.46
Julio	19.76
Agosto	18.38
Septiembre	18.53
Octubre	25.62
Noviembre	28.32
Diciembre	7.82
Total	175.82

En la Tabla No. 2 se observa claramente delimitado el período de estación seca que, en el Istmo de Panamá, se extiende de enero a abril. Tal como se observa en dicha Tabla, los meses de estación lluviosa se extienden de mayo a diciembre. No obstante, ya a partir del mes de diciembre se registra una disminución significativa de la precipitación pluvial. El mes más seco de este período fue el mes de febrero con una precipitación media de 2,12 cm, mientras que el más lluvioso fue el mes de noviembre con una precipitación media de 28,32 cm.

Se analizaron también los datos de precipitación anual registrados en las estaciones de Colón, Gamboa y Bohío para el período comprendido de 1863 a 1900. Estos datos proceden de tres fuentes: la Compañía del Ferrocarril (1863 a 1880); la Compañía del Canal Francés (1881 a 1889); la Segunda Compañía del Canal Francés (1896 a 1900). Las precipitaciones más altas se registraron en la estación de Colón, localizada en la costa atlántica. Esta situación se debe a la exposición que tiene esta zona a los vientos alisios que transportan la humedad del Océano Atlántico. Al entrar a tierra, los vientos Alisios son forzados a ascender debido a la interacción que se da entre las brisas de mar y de lago y la ligera orografía de la zona. Durante el período comprendido de 1863 a 1899, las precipitaciones promedio en las estaciones de Colón, Gamboa y Bohío ascendieron a 326,8 cm, 244,7 cm y 291 cm, respectivamente. Las desviaciones estándar correspondientes a las precipitaciones registradas en las estaciones antes mencionadas ascendieron a 55,7 cm, 42,4 cm y 47 cm, respectivamente.

Tomando en consideración aquellos años en los que se registraron pluviosidades bajas, con precipitaciones inferiores al promedio, en el orden de, por lo menos, una desviación estándar, σ , se obtienen las tablas siguientes que muestran los años con precipitaciones mínimas en cada una de las estaciones antes citadas:

Tabla N° 3		
Precipitaciones Mínimas - Estación de Colón		
Año	Precipitación(cm)	Anomalía(cm)
1871	255,4	-71,4
1873	223,3	-103,5
1875	242,8	-84,0
1878	222,3	-104,5
1884	221,8	-105,0

Tabla N° 4		
Precipitaciones Mínimas - Estación de Gamboa		
Año	Precipitación(cm)	Anomalía(cm)
1883	196,4	-48,3
1889	194,1	-50,6
1891	199,2	-45,5
1899	203,2	-41,5

Tabla N° 5		
Precipitaciones Mínimas - Estación de Bohío		
Año	Precipitación(cm)	Anomalía(cm)
1871	208	-83
1873	203	-88
1875	218	-73
1878	200	-91
1884	244	-47

Al comparar los datos de precipitación de la estación de Colón con los de la estación de Bohío, en ambas estaciones se registraron episodios de precipitaciones muy por debajo del promedio en los años 1871, 1873, 1875, 1878 y 1884, como se muestra en las Tablas No.3 y No.5. Todas las precipitaciones registradas durante los años citados fueron inferiores a la media en por lo menos una desviación estándar: σ . Tanto en la estación de Colón, como en la de Bohío, las precipitaciones más bajas de la serie se registraron en los años 1873 y 1878. La precipitación anual más baja de toda la serie fue registrada en la estación de Bohío durante el año 1878. Dicha precipitación ascendió a 200 cm, lo que corresponde a una desviación de $-1,94 \sigma$, con respecto al valor medio. En la estación de Gamboa se registraron episodios de precipitaciones inferiores al valor promedio durante los años 1883, 1889, 1891 y 1899. La precipitación más baja de esta serie se registró en el año 1889 y ascendió a 194,1 cm. Habría resultado interesante comparar la información de pluviosidad correspondiente al año 1899 entre las estaciones de Gamboa y Colón, pero la estación de Colón no tiene registro de la precipitación para el año 1889.

Un evento climático que se suscita periódicamente con graves efectos socioeconómicos, a nivel mundial, es el fenómeno de **El Niño**. Este fenómeno está asociado a oscilaciones en los patrones de presión atmosférica sobre el Océano Pacífico. Por esta razón, se le suele designar con las siglas **ENSO (El Niño / Southern Oscillation)**. En condiciones normales, la presión atmosférica es mayor sobre el Pacífico Oriental que sobre el Pacífico Occidental, de forma tal que los vientos alisios circulan de Este a Oeste en la parte ecuatorial del centro de alta presión del Pacífico Oriental. En este proceso, los vientos alisios fuerzan al agua de la superficie del mar a drenar hacia el Oeste cierta cantidad de agua fría que surgió a lo largo de las costas de Sudamérica. A medida que el agua fría se desplaza hacia el Oeste, la capa superficial de ésta es calentada por la radiación solar. Debido a este hecho, en la zona ecuatorial del Océano Pacífico el agua suele ser más fría hacia el Este y más cálida hacia el Oeste. Por otro lado, como consecuencia del proceso de

drenaje, el nivel del mar en el Pacífico Occidental es ligeramente mayor que en el Oriental. Debido a esta diferencia en la elevación del nivel del mar, normalmente se produce una leve contracorriente de agua cálida que fluye, en la zona tropical, desde el Oeste hacia las costas de Sudamérica. Para evaluar las alteraciones en los patrones de presión atmosférica que pudiesen estar asociados a un episodio ENSO, se han tomado dos puntos de referencia: **Darwin (Australia)** y **Tahití**. En condiciones normales, la presión en Tahití (T) es mayor que en Darwin (D). Para evaluar dichas alteraciones se ha introducido un índice denominado Índice de Oscilación del Sur (SOI), el cual se define como la diferencia de presión a nivel del mar entre Tahití y Darwin (T-D). Esto significa que, en condiciones normales, el **Índice de Oscilación del Sur (SOI)** es positivo. Cuando las presiones a nivel del mar en Darwin exceden a las de Tahití, el Índice de Oscilación del Sur (SOI) se hace negativo. **Se ha encontrado que los valores negativos extremos del SOI coinciden con el registro de un evento de El Niño, es decir, con la fase cálida de un evento ENSO (Kane, 1997).**

En promedio, cuando el SOI se hace negativo, se produce un refuerzo en la contracorriente que circula de Oeste a Este. Como consecuencia de este hecho, una onda de agua cálida, denominada onda Kelvin, se desplaza desde el Pacífico Occidental hacia las costas de Sudamérica, Centroamérica y parte de Norteamérica. Este fenómeno induce graves alteraciones en las condiciones climáticas, no sólo de estas regiones sino de casi todo el globo. En algunas zonas disminuye significativamente el nivel de precipitación con la consiguiente sequía y, en otras, se suscitan drásticos aumentos en los niveles de precipitación con su secuela de inundaciones (**Rasmuson y Carpenter, 1983; Waylen, et. al, 1994; Kane, 1997**).

En el caso de Panamá, al igual que en el resto de Centroamérica y México, la fase cálida del evento ENSO está asociada a intensas sequías, cuya duración puede extenderse de 8 a 18 meses. Para establecer el nivel de intensidad de la fase cálida de los eventos ENSO, se ha introducido una nomenclatura en la que el nivel de

estos eventos se clasifica como **M (Moderado)**, **S (Fuerte)**, **VS (Muy Fuerte)**, o una combinación de las intensidades anteriores como, por ejemplo, **M-S**, **M-VS**, o bien, **S-VS**. El evento ENSO que tuvo una mayor severidad durante el siglo XIX se suscitó en el período **1877-1878** (CEPAL, 1998). Este hecho concuerda con los datos de precipitación registrados en las estaciones de Colón y de Bohío. Como fue planteado anteriormente, el nivel de precipitación registrado en dichas estaciones durante el año 1878, fue muy inferior al valor medio. En el caso de la estación de Bohío, la precipitación registrada en el año 1878 fue la más baja de todo el período de observación, que se extendió desde el año 1863 hasta el año 1900. En el caso de la estación de Colón, la precipitación registrada durante el año 1878 fue la segunda más baja de todo el período de registro. Otros eventos ENSO durante el siglo XIX, tuvieron lugar en los años 1873-1874, 1880-1881, 1884-1885, 1887-1889, 1899-1900. (Climate Data Library – Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Columbia, 1999).

La Tabla N° 6. (Contreras, 2000) presentada a continuación, muestra una distribución temporal de los eventos ENSO para todo el siglo XIX.

Tabla N° 6			
Eventos ENSO y El Niño Años de 1800-1900			
Años	Intensidad	Años	Intensidad
1802-1804	S	1854-1855	M-S
1806-1807	M	1857-1859	M
1810	M	1860	M
1812	M	1862	M
1814	S	1864	S
1817	M	1865-1866	M
1819	M	1867-1869	M-S
1821	M	1871	M-S
1824-1825	M-S	1873-1874	M
1827-1828	S-VS	1877-1878	VS
1830	M	1880-1881	M
1832-1833	M-S	1884-1885	M-S
1835-1836	M	1887-1889	S
1837-1839	M-S	1891	M-VS
1844-1846	VS	1896-1897	M
1850	S-M	1899-1900	S-VS
1852-1853	M		

Fuente: Díaz, Henry y Markgraf, Vera (1992). El Niño. Historical and Paleoclimatic aspects of the southern Oscillation. New York, Cambridge University Press, p. 122-132.

Si se comparan los datos de la Tabla anterior con los de las Tablas N° 3, y N°5, se puede concluir que las bajas precipitaciones registradas tanto en la estación de Colón como en la de Bohío durante los años 1871, 1873, 1878 y 1884 están asociadas a eventos ENSO que se suscitaron durante los años

antes citados. Del análisis de la Tabla N° 4 se puede inferir que las bajas precipitaciones registradas en la estación de Gamboa durante los años 1889, 1891 y 1899 se encuentran también asociadas a eventos ENSO, ocurridos durante estos años. Cabe señalar que varios de los episodios de sequía detectados por las estaciones que estuvieron ubicadas en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá durante el siglo XIX, coinciden con episodios de sequías intensas que ocurrieron en el territorio mexicano (Contreras, 2000). En el Cuadro que se presenta a continuación, Contreras (2000) documenta los eventos de sequías severas que afectaron todo el territorio mexicano durante el siglo XIX.

Tabla N° 7	
Grandes Sequías en México. Siglo XIX	
Años	Area geográfica afectada
1808-1811	Todo el Virreinato de la Nueva España
1868	Estados de Chiapas, Coahuila, Guerrero, Nuevo León, Oaxaca, Aguascalientes, México y Distrito Federal
1877	La mayor parte del territorio nacional, especialmente el centro y norte del país
1884-1885	Todo el territorio del país, una de las sequías mejor documentadas
1892-1896	Todo el territorio del país, destaca el año de 1894, período en donde por lo menos 17 estados de la República registran promedios de lluvia por debajo del promedio anual de precipitación. Posiblemente se trata de la peor sequía del siglo XIX

Fuente: Enrique Florescano, Guillermo Padilla, Luis Rodríguez, op. cit. Carlos Contreras, a partir de registros meteorológicos.

Como se puede apreciar del análisis del Cuadro anterior, la sequía registrada en la mayor parte del territorio mexicano durante el año 1877 es casi coincidente con la registrada en las estaciones de Colón y de Bohío en el año 1878. La sequía registrada en todo el territorio mexicano durante el período 1884-1885 coincide con la registrada en las estaciones de Colón y de Bohío en el año 1884. La sequía registrada en todo el territorio mexicano durante el período 1892-1896 es casi coincidente con la registrada en la estación de Gamboa durante el año 1891.

Contreras (2000) hace referencia al nivel de intensidad de las sequías registradas en todo el territorio mexicano durante los períodos 1877 y 1884-1885:

“Las sequías también tuvieron repercusiones ambientales, entre los casos mejor documentados, se encuentran los efectos que tuvo la falta de lluvia, en relación con la desecación de los lagos cercanos a la Ciudad de México, ya que por ejemplo, durante la sequía de 1877, el vaso del lago de Texcoco casi se secó por completó (28); posteriormente, durante la sequía de 1884-1885, el mismo lago se volvió a secar, a tal grado, que un informe de Antonio Peñafiel menciona que a causa de la desecación del vaso de Texcoco, éste se había convertido en un pantano de aguas putrefactas, provocando que la atmósfera de la capital por esos años, se tornara irrespirable”.

Al concluir la fase cálida de un evento ENSO, usualmente los vientos alisios retornan a la normalidad. No obstante, en ocasiones, al terminar la fase cálida antes citada, los alisios alcanzan intensidades más altas que el promedio, de forma tal que drenan una gran parte del agua superficial fría de las costas de Sudamérica, desplazándolas hacia el Pacífico Occidental y Central. De este modo se suscita un episodio de agua superficial fría en las costas de Sudamérica, Centroamérica y parte de Norteamérica, opuesto a las condiciones que se dan en dichas zonas durante la fase cálida del evento ENSO o El Niño. A este

episodio en el que se presentan condiciones opuestas a las de los eventos El Niño se le ha denominado evento **La Niña** o **fase fría de un episodio ENSO**.

Las Tablas N°8, N°9 y N° 10 que se observan a continuación, muestran los registros de precipitaciones altas, superiores al valor medio en, por lo menos, una desviación estándar, σ , para las estaciones de Colón, Gamboa y Bohío.

Tabla N° 8		
Precipitaciones Máximas - Estación de Colón		
Año	Precipitación(cm)	Anomalia(cm)
1870	383,6	56,8
1872	432,0	105,2
1879	421,0	94,2
1887	397,2	70,4
1890	395,6	68,8
1894	394,0	67,2
1895	388,4	61,6

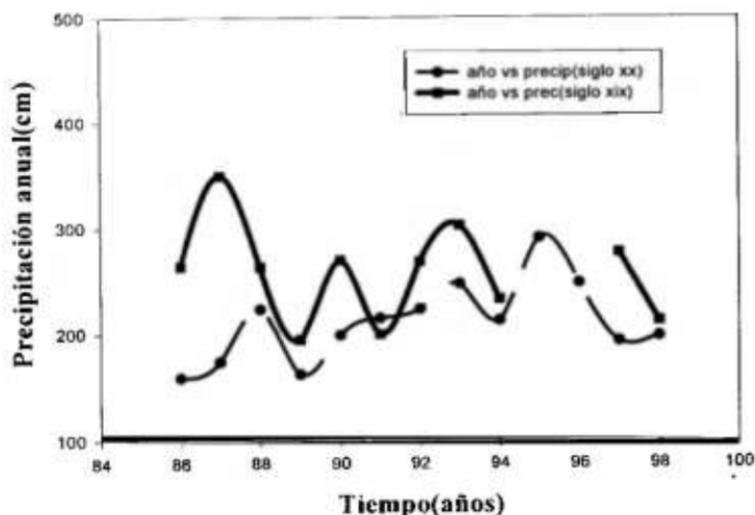
Tabla N° 9		
Precipitaciones Máximas - Estación de Gamboa		
Año	Precipitación(cm)	Anomalia(cm)
1887	349,2	104,5

Tabla N° 10		
Precipitaciones Máximas - Estación de Bohío		
Año	Precipitación(cm)	Anomalia(cm)
1870	338	47
1872	385	94
1879	333	42
1887	387	96
1890	349	58
1892	333	42
1893	333	42
1895	349	58

En las Tablas N°8, N°9 y N°10 se observa que las precipitaciones altas, superiores al valor medio, que se produjeron en los años 1870, 1872, 1879, 1887, 1890 y 1895 fueron registradas por las tres estaciones antes mencionadas. Es interesante el hecho de que las pluviosidades extremas registradas en los años 1870, 1872, 1879, 1890 y 1893 en las estaciones de Colón y de Bohío se suscitaron al terminar la fase cálida de un evento ENSO o El Niño. A la luz de lo que se conoce actualmente en relación a los eventos ENSO, existe la posibilidad de que tales períodos de pluviosidad extrema pudiesen estar asociados a la fase fría de un episodio ENSO, es decir, a un evento La Niña. No obstante, esta hipótesis deberá ser investigada más a fondo con posterioridad.

Al comparar el nivel de pluviosidad registrado en la estación de Gamboa durante el período comprendido entre 1886 y 1899 con el nivel de pluviosidad en esta misma estación entre 1986 y 1999, es decir, en las dos últimas décadas del siglo XX, se observó una disminución estadísticamente significativa en el régimen de lluvias de esta zona. La precipitación anual media en la estación de Gamboa para el período comprendido entre **1886 y 1899** fue de **257 cm**, aproximadamente, mientras que la precipitación anual media en dicha estación, para el mismo período del siglo XX (**1986 - 1999**) fue de **211 cm**. La gráfica N° 2 muestra el comportamiento antes mencionado.

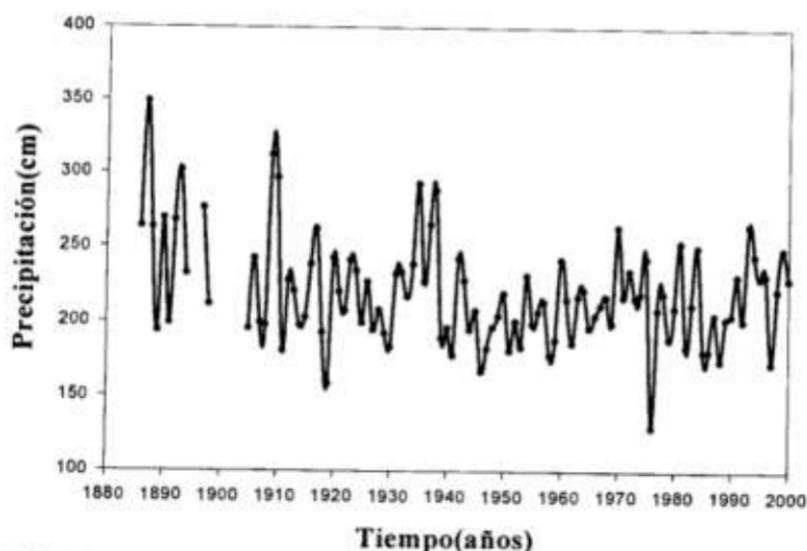
Precipitación anual vs Tiempo



Gráfica N° 2

Con el objeto de determinar si la tendencia sugerida por la gráfica anterior es válida para todo el período comprendido entre la segunda mitad del siglo XIX y el siglo XX, se construyó la gráfica de Precipitación vs Tiempo correspondiente a la estación de Gamboa desde el año 1886 hasta el año 2000. No obstante, hay algunos años para los cuales no se pudo rescatar la información de precipitación. La gráfica N° 3 presenta esta información:

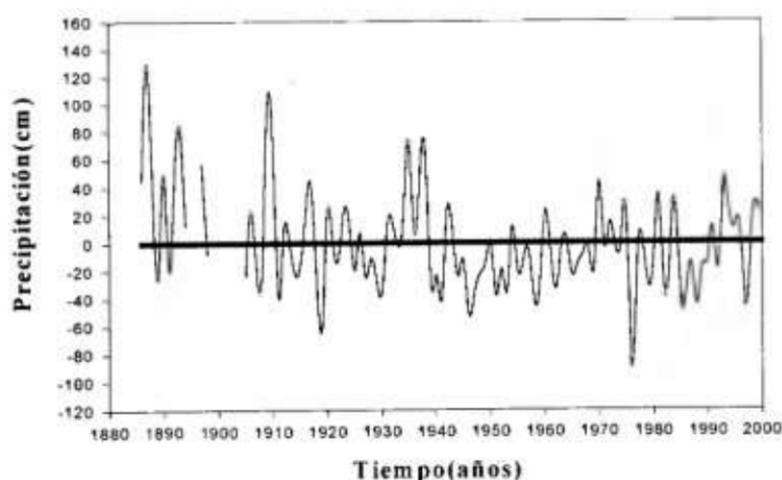
Precipitación vs Tiempo Estación de Gamboa



Gráfica N° 3

De acuerdo con los datos registrados, la precipitación promedio para todo el período ascendió a 219,2 cm. La precipitación media para el período comprendido entre 1886 y 1899 ascendió a 257,2 cm mientras que la precipitación media para el período comprendido entre 1905 y 2000 correspondió a 215,3 cm. Con esta información se construyó una gráfica de las Anomalías de Precipitación vs Tiempo. Para construir la gráfica en cuestión se calcularon las desviaciones de precipitación para todo el período estudiado con respecto al valor medio de 219,2 cm. De este modo se obtuvo la gráfica N° 4, presentada a continuación.

Anomalías de Precipitación vs Tiempo Estación de Gamboa



Gráfica N° 4

En la gráfica anterior se observa que, de todo el período estudiado, la mayor anomalía positiva se registró en el año 1887 con un valor de 129,6 cm. También se puede apreciar que la mayor anomalía negativa se registró en el año 1976 con un valor de -89,9 cm. Se destaca el hecho de que, durante el siglo XX, se observó un mayor número de anomalías negativas que de anomalías positivas. Esto indica que, durante el siglo en cuestión, se presentó un mayor número de episodios de sequía que de precipitaciones por encima del promedio.

En la gráfica N° 2, si se considera todo el período comprendido entre 1886 y 2000, se puede apreciar una leve disminución en los niveles de precipitación para todo el periodo objeto del presente estudio. Si se compara el nivel de precipitación media, en la estación de Gamboa, correspondiente al período del siglo XIX estudiado, con el nivel de precipitación media en dicha estación correspondiente al siglo XX, se puede establecer que la

disminución en el régimen de lluvias entre un siglo y otro es del orden del 17%, aproximadamente.

Este hecho sugiere la necesidad de efectuar, en futuros estudios, un seguimiento a todos los registros de precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, desde la segunda mitad del siglo XIX hasta finales del siglo XX con el objetivo de determinar si la tendencia sugerida tanto por la gráfica N° 2 como por la gráfica N° 3 es válida para toda esta área, o si se trata de condiciones particulares acontecidas en la estación de Gamboa.

CONCLUSIONES

Las sequías registradas por todas las estaciones analizadas y que estaban ubicadas en lo que sería posteriormente la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá pueden atribuirse a eventos El Niño que se suscitaron durante tales años. Estos episodios de sequía coinciden con episodios similares registrados en el territorio mexicano, como fue planteado anteriormente.

Los datos de pluviosidad correspondientes a la estación de Gamboa para el periodo comprendido entre 1886 y 2000 se muestran una leve disminución, del orden del 17 %, en los niveles de precipitación pluvial durante el periodo estudiado. Sería necesario analizar los datos de precipitación de otras estaciones ubicadas en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá desde la segunda mitad del siglo XIX hasta el año 2000 a fin de determinar si la tendencia observada en Gamboa es válida para toda el área.

ABSTRACT

During the last century the earth's mean surface temperature has risen between 0.3 °C to 0.6 °C . If this rate of warming continues, all life on the planet will be affected. The GIEC reports based on the analysis of new proxy data for the Northern Hemisphere, that there is a high probability that the increase in surface temperature during the XX century is the largest in the last 1000 years. It is also probable that the 1990 decade has been the warmest and that 1998 has been the warmest year since 1861. In recent years, sea surface temperature has

been analyzed together with surface air temperature over land in order to have a better idea of the global changes that are taking place. The primary object of this study was to determine if a climatic change through the study of the rainfall behavior within the Panama Canal Watershed. For this purpose the rainfall record of four Panama Canal stations during the last twenty years of the XIX century and all of XX century were analyzed. A preliminary analysis and discussion of the rainfall behavior for four rainfall stations for the last twenty years of the XIX century in the Panama Canal is presented. The droughts registered by the analyzed stations during the last 20 years of the XIX century seem to be related to El Niño events. These droughts occurred almost at the same time in Mexico.

REFERENCIAS

- Abbot, H. L. 1915. Hidrology of the Isthmus of Panama. Published Bimonthly at the Engineer School, Washington Barracks, D.C. Vol. 7, N° 36.
- Alvarado, A. 1963. Análisis histórico-geográfico del Canal. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.
- Alzamora, A., 1952. Participación de los franceses en la construcción del Canal Interoceánico. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.
- Anaya, M. 1950. La región de Gatún ante la construcción del Lago. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.
- Ahrens, C. D. Meteorology Today. Editorial West Publishing Company, 5ª edición, 1994.
- Batista, J. M. 1982. La Universidad promueve la creación de un Servicio Meteorológico Nacional. Revista Tierra y Hombre.
- Bulletin Du Canal Interoceanique. Troisième Année. Imprimerie de la Societé de Publications Periodiques. Paris, 1881, 1882, 1883, 1884, 1886 y 1887.
- Cañizales, B. 1949. La Estructura Geográfica en Panamá durante el Siglo XIX. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.

Carrasco R. I. 1974. El Desarrollo de la Geología Contemporánea. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.

CEPAL, 1998. El Fenómeno del Niño: Su Naturaleza y Los Riesgos Asociados a su Presencia Recurrente.

Contreras, C., Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.

Espinosa, J. A. 1999. Causes of the Change of Seasons in the Panama Canal Watershed, Meteorology Section, Meteorological and Hydrographic Branch, Engineering Division, Panama Canal Commission, Balboa Heights, Panama. Website: www.pancanal.com/esp/index.html.

Groupe D'Experts Intergouvernemental Sur L'Evolution Du Climat. Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC; Changements Climatiques, 1995.

Kane, R. P. 1997. Relationship of El Niño-Southern Oscillation and Pacific Sea Surface Temperature with Rainfall in Various Regions of the Globe, Monthly Weathr Review, 125, 1792-1800.

Kirk, P. 1924. Meteorology General and Isthmian. The Military Engineer Magazine.

Molino, E. 1958. Tratado sobre las Observaciones Meteorológicas. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.

Quintero, L. R. 1990. Participación de Panamá dentro de la Organización Meteorológica Mundial. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.

Rasmusson, E. M. & T. H. Carpenter. 1983. The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka. Mon. Wea. Rev., 11, 517-528.

Ríos, D. 1949. Ensayo histórico crítico de la comunicación Interoceánica hasta 1903. Trabajo de Graduación, Universidad de Panamá.

Rubio, A. 1944. Estudios Geográficos y Geológicos del Istmo de Panamá.

Sánchez, E. 1949. Estudios Geográficos en Panamá, durante los siglos XVII, XVIII y XIX.

Schneider, D. The Rising Seas. Scientific American, Vol. 9, N° 3, P. 28 - 35, 1998.

Wigley, T.M.L. The effect of model structure on projections of greenhouse Gas induced climatic change. Geophysics Research Letters, 14, 1135-1138 (1987).

Recibido abril del 2001, aceptado mayo del 2001.



VLADIMIR IVANOVICH VERNADSKY: Pionero de la Biosfera (Una biografía sinóptica).

Julio Méndez

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

e-mail:julmen42@yahoo.com

Vladimir Ivanovich Vernadsky fue un científico ruso, multifacético, que dominaba la Geoquímica, la Minerología, la Cristalografía y la Filosofía, además de 15 idiomas.

Su mayor contribución a las Ciencias fue el desarrollo del concepto de la BIOSFERA, la masa total de organismos vivientes, en el planeta Tierra, quienes procesan y reciclan la energía y la materia del ambiente.

Eduardo Suess, un geólogo austriaco, introdujo el concepto que fue aceptado por muchos científicos a principios del siglo XX. Así, John Murria, en 1910, acuñó el término "GEOSFERA" al referirse a la Troposfera y la Estratosfera de León Teisserenc, a la Astenosfera de Joseph Barrel y a la Pedosfera de Svante Mattson.

Vernadsky introdujo el concepto de BIOSFERA y lo desarrolló principalmente en un pequeño libro intitulado La BIOSFERA, como una contribución a la tendencia de la época a unir las ciencias biológicas con la ciencias geológicas: movimiento ideológico iniciado por el propio Suess. La idea de Vernadsky tiene sus fundamentos en la Biogeoquímica (disciplina científica iniciada por él mismo); estos fundamentos, nuevos y revolucionarios para la época, principios del siglo XX,

consideraban a la Tierra como un sistema de organización dinámica materia-energía impulsada por la energía del Sol, siendo la totalidad de la materia viviente la que transforma esa energía cósmica. Es esta una ideología holística e integradora que, por primera vez en la cultura humana, rescata del olvido la visión unificada de la Naturaleza. El concepto de Vernadsky es unificador, conecta los sistemas vivientes a la economía global de naturaleza, a la vida con el cosmos.

SU VIDA (1863 – 1945):

Nació en San Petersburgo el 12 de marzo de 1863. Hijo de Iván Vasilyevich Vernadsky, un profesor de Economía Política en las Universidades de Kiev y Moscú; más tarde profesor en el Liceo Alexandrov de San Petersburgo. Iván era un liberal, propulsor de las ideas democráticas, las cuales exponía en el semanario "El Índice Económico", del cual fue editor hasta 1864, cuando el mismo fue clausurado por la censura política de la época. Iván desposó, en 1862, a Anna Petrovna Konstantinovich, la madre de Vladimir.

Desde temprana edad, Vladimir dedicó mucho tiempo a la lectura y al estudio; llegó a dominar varios idiomas y a conocer profundamente la historia y la cultura de Ucrania. En 1881 entra a la Universidad de San Petersburgo, decidiéndose por una carrera en Cristalografía y Mineralogía, en la Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales y, en 1885, obtuvo su título, al sustentar la tesis intitulada "Sobre las propiedades físicas de las mezclas isomórficas". Más tarde (1886) ocupa el cargo de "curador" de la colección mineralógica de la Universidad de San Petersburgo y contrae nupcias con Natalia Yegorovna Stariskaya. Este matrimonio, que duraría 56 años, produjo dos hijos: Giorgi, un historiador que emigró a los Estados Unidos de América y fue profesor en la Universidad de Yale, y Nina, que llegó a ser Psiquiatra y también emigró a los Estados Unidos.

Vernadsky en 1888 obtuvo una beca para realizar estudios de Cristalografía y Mineralogía en varios países europeos. Durante

su estadía en Inglaterra conoció a Iván Pavlov, el notable fisiólogo ruso, quien lo invitó a enseñar en la Universidad de Moscú. Vladimir se matriculó como estudiante en esta universidad, y dos años después, en 1891, presenta su tesis de grado, intitulada: "Sobre el grupo silimanita y sobre el papel de la alúmina en los silicatos". Inicia entonces, un profesorado de 20 años (1881-1911), ocupando la cátedra de Mineralogía y Cristalografía. En 1911, un grupo de profesores de esa universidad renuncian a sus posiciones como protesta hacia las autoridades gubernamentales, quienes pretendían ejercer mayor control político sobre la institución. Vladimir regresa a San Peterburgo, donde ingresa a la Academia de Ciencias y funda el Laboratorio de Biogeoquímica. En 1915 funda la Comisión para el Estudio de las Fuerzas Protectoras Naturales, institución cuyo objetivo era el de organizar fuerzas sociales, técnicas y científicas, para participar con mayor eficacia en la Primera Guerra Mundial y de la cual fue director en los periodos de 1915-1917 y 1926-1930.

En 1922 Vladimir fundó el Instituto del Radio, en Moscú y fue invitado como Profesor Agregado a la Universidad de París, donde su familia viviría hasta 1926. Es de notar que en este periodo, Vernadsky hace amistad con Teilhard de Chardín y Eduardo Le Roy, con quienes concibe y propone el concepto de la Noosfera.

Vernadsky y su esposa regresan a San Petersburgo en 1926, donde publica su libro LA BIOSFERA, y organiza el Departamento de la Materia Viviente, en la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Un año después, en 1927, es partícipe en la creación del Instituto Dokuchaev de Pedología.

El Departamento de la Materia Viviente es reorganizado bajo el nombre de "Laboratorio de Biogeoquímica" y después de la Segunda Guerra Mundial asume el nombre de "Instituto Vernadsky de Geoquímica y Química Analítica". Entre 1928 y 1932 Vernadsky se convierte en uno de los líderes del movimiento intelectual contra el comunismo. Así, es excluido

como representante de la Unión Soviética, de numerosos congresos internacionales e institutos, incluyendo la Academia de Ciencias Soviéticas. Para esta época publica "El Estudio de la Vida y de la Nueva Física" y "Sobre las Condiciones de la Aparición de la Vida en la Tierra", las dos en francés. En 1932 vuelve a Francia a dictar conferencias y publica, en 1934, "Historia de la Aguas Naturales" y "El Problema del Tiempo en la Ciencia Contemporánea". Vernadsky regresa a Moscú en 1935, hacia donde se había trasladado la Academia de Ciencias de San Petersburgo y publica "Los Problemas de la Radiogeología", en francés, ya que en su país encuentra creciente dificultad para publicar. En 1937 publica "Sobre los Límites de la Biosfera", ponencia en el Congreso Geológico de Moscú.

La Segunda Guerra Mundial estalla en 1939, época en que Vernadsky publica sus "Ensayos Biogeoquímicos" y comienza la escritura del libro "La Naturaleza Química de la Biosfera Terrestre y sus Alrededores", libro que no llega a terminar pues es evacuado, con su esposa y amigos, a Borovoe, Kazakstán. En 1943 regresa a Moscú, tiene ya 80 años; ahora se dedica a escribir "Algunas Palabras sobre la Noosfera". En diciembre del mismo año, coincidiendo con la muerte de su esposa Natalia, Vladimir publica en inglés su obra "Problemas de la Biogeoquímica II", traducida del ruso por su hijo Giorgi, en 1944. Vladimir Ivanovich Vernadsky deja de existir en Moscú, a causa de una hemorragia cerebral, el 6 de enero de 1945; fue enterrado en el Cementerio Novodevichye de Moscú. Así desaparece uno de los científicos más prolíficos, versátiles e influyentes del mundo contemporáneo.

SU OBRA (1863 - 1945):

La producción científica de V.I. Vernadsky no solamente es prolífica, sino además, es profunda, compleja y significativa. Su devoción por la investigación científica, su honestidad y su indiferencia a los vaivenes de la política fueron notables. Vernadsky tuvo una gran capacidad y un gran ingenio para organizar y fundar instituciones, congresos, asistir a reuniones

internacionales y, sobre todo, expresar libremente su opinión, aunque no hubieran el calor de las autoridades gobernantes.

La obra científica de Vernadsky se centra en un monumental esfuerzo por reunir la ideología biológica con la de las ciencias fisicoquímicas.

Hacia finales del siglo XIX, las ciencias biológicas se desarrollaban de acuerdo a los modelos filosóficos reduccionistas y mecanicistas. La Biología radiaba, produciendo muchas subdisciplinas, independientes entre ellas. Así mismo, las ciencias geológicas progresaban, sin ninguna relación con las demás. Aparece entonces la figura de Eduardo Suess, quien propone el modelo de las "cubiertas geológicas" o "geosferas", como un esfuerzo por reunir, conceptualmente, las ciencias geológicas, físicas y biológicas. El concepto ya estaba en la mente de Vernadsky, pero son Teilhard de Chardín y Vernadsky quienes se ocupan de desarrollarlo, aunque de una manera diferente, cada uno. La de Teilhard fue una mística cósmica, la de Vernadsky, un realismo cósmico, una abstracción ideológica, cuyo objetivo era describir la complejidad de la naturaleza terrestre, en su relación con el Cosmos.

Vernadsky tenía más de 60 años cuando publicó su libro "**La Biosfera**", en 1926; en él concibió la unión de las teorías físicas con los fenómenos básicos de la vida. Mientras Claude Bernard se ocupaba del "Milieu interieur" y su distinción del "milieu externe", Vernadsky llamaba la atención del mundo científico al "medio cósmico" regido por los principios termodinámicos, los cuales forman la infraestructura para el estudio de los procesos biológicos. Para Vernadsky, son las manifestaciones de los intercambios materia-energía, entre los organismos vivos y el ambiente físico, lo que asocia la vida al cosmos. En realidad, para Vernadsky, la vida es un fenómeno cósmico, regida por fenómenos cósmicos y, por tanto, parte del cosmo (entiéndase **universo**). Los fenómenos de la vida son fuerzas geológicas que absorben energía cósmica, transformándola y transformando la superior terrestre. De ahí la

terminología siempre asociada a las obras de Vernadsky: **biogeoquímica, geomicrobiología, biogeología, etc.**

Una última concepción de Vernadsky, fue la idea de la **Noosfera**, concepto que se concibió junto a Teilhard y Le Roy, pero que Vernadsky desarrolló en su libro "Algunas palabras sobre la noosfera", aparecido en 1944, un año antes de su muerte. La noosfera de Vernadsky no es más que la biosfera que, con el desarrollo del intelecto humano, ha llegado a ser la figura dominante y ahora se proyecta hacia el Sistema Solar y más allá.

A continuación, presentamos, en orden cronológico, una lista de las más conocidas obras de Vladimir Ivanovich Vernadsky:

1904, Fundamentos de Cristalografía, Moscú, Instituto Geológico.

1923, Una petición por el establecimiento de un laboratorio de Biogeoquímica, Transacciones de la Sociedad Biológica de Liverpool.

1924, La Geoquímica, Félix Alcan, editores, París, Francia.

1926, La Biosfera, Leningrado, editorial Nauka.

1926, Instrucciones para la determinación de las constantes geoquímicas y Determinación de la energía geoquímica para algunos grupos de insectos, Leningrado, Academia Nauk.

1927, Sobre la dispersión de los elementos químicos, París, Revista General de Ciencias.

1929, La Biosfera, versión francesa, París, Alcan editores.

1930, El estudio de la vida y la nueva física, París, Revista General de Ciencias.

1931, Los isótopos y la materia viviente, EUA, Noticias Químicas.

1932, Sobre las condiciones para la aparición de la vida sobre la Tierra, París, Revista General de Ciencias.

1933, Oceanografía y Geoquímica, en alemán.

1934, El problema del tiempo en la ciencia contemporánea, París, Revista General de Ciencias.

1935, Problemas de Biogeoquímica, Moscú, Izdatel'stvo AN SSR.

1937, Sobre los límites de la Biosfera, Izvestia, Moscú.

- 1938, Papel biogeoquímico del aluminio y del silicio en suelos, Dokkady, Academia de Ciencias, Moscú.
- 1939, Sobre ciertos problemas fundamentales de Biogeoquímica, Moscú, Academia de Ciencias.
- 1940, Ensayo biogeoquímicos, Moscú Izdat'stvo Academia Nauk.
- 1942, Sobre las cubiertas geológicas de la Tierra como un planeta, Izvestia, Moscú.
- 1944, La Biosfera y la Noosfera, Moscú, Nauka ed.

REFERENCIAS

- Encyclopedia Brittanica 1989, Vernadsky, Vladimir Ivanovich, vol.12 pp.323.
- Kauffman, G. 2000, Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) Pioneer of the Biosphere, 21st Century Science & Technology, vol 13, N^o4, p.40-42.
- Riaza, F. 1968, Teilhard de Chardin y la evolución biológica, Ediciones Alcalá, Madrid, p. 443.
- Tennenbaum, 2000, Why dead minds cant't know the noosphere, 21st Century Science & Technology, vol 13, N^o4, p.2-5.
- Vernadsky, V. 1926 Biosfera (Trad. Inglesa, 1997), Springer-Verlag, New York, p.191.
- Vernadsky, V. 1938, Problems of Biogeochemisry II (Trad. Inglesa, 2000), 21st Century Science & Technology, vol 13, N^o 4, p. 20-39.

Recibido abril del 2001, aceptado junio del 2001.

ANÁLISIS HEURÍSTICO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA DE LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGÍA Y EL CUANTA.

César Garrido

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

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

RESUMEN

El concepto de discontinuidad para una variable dinámica como la energía introduce una ruptura en la física de Hamilton-Lagrange, que se dio mediante un proceso que tuvo su máxima expresión en el descubrimiento de, o encuentro con, el cuanta por Max Planck hace cien años. En este trabajo realizamos una interpretación de este concepto enmarcada en el referente contextual de entonces del desarrollo de la electrodinámica, la termodinámica de la radiación y la física cinética. Se muestra cómo el uso del modelo físico continuista del resonador requirió de ajustes de las concepciones cinéticas de la física de los corpúsculos, para llevar a la distribución discreta de energía entre los resonadores sin introducir, en forma explícita, precisamente el atomismo; pero, en su defecto, la caracterización del cuerpo negro pasa por el intercambio absorción-emisión dejando como colateral la descripción del comportamiento de la radiación pura. El uso de la entropía, categoría central en el pensamiento físico de Planck, muy ligada a la irreversibilidad de los procesos, nos permite realizar un análisis heurístico, análogos a los cálculos que debió realizar, del camino hacia la fórmula que describe la radiación del cuerpo negro, en el que el punto medular consiste en un giro interpolativo más que una deducción basada en hipótesis físicas. Este hecho ha dado lugar a una polémica sobre la autoría del descubrimiento de la cuantización de la energía, la que resurgió con motivo del centenario de lo que se considera el inicio de la física cuántica y sobre lo cual nos limitamos a algunos criterios que forzosamente deben ser metodológico-filosóficos. En el análisis que realizamos del programa planckiano se observa la complejidad de la construcción epistemológica de una nueva ley, nunca lineal, a pesar de que, por razones metodológicas, no hemos incluido el aporte de otros contemporáneos de Planck. Finalmente, una percepción sobre las constantes universales y la energía del punto cero nos

permiten mostrar la variabilidad de las aristas que se coligen de la médula del programa principal.

PALABRAS CLAVES

Resonador, entropía, cuanta, radiación natural, atomismo.

INTRODUCCIÓN

La introducción de la discontinuidad de la energía electromagnética por Planck hace cien años es considerada el punto de partida de la teoría que rige para los entes del micro mundo. El continuismo no era otra cosa que la confirmación de la naturaleza continua de los campos clásicos y, a su vez, el fundamento del energitismo contraparte de las ideas atomísticas de la época. En el proceso de la síntesis del siglo de la teoría cuántica, el lugar del cuanta “primitivo” ocupa diferentes posiciones. Los éxitos de la mecánica cuántica (Tegmark y Wheeler, 2001) y el debate sobre sus consecuencias más recientes, como la computación cuántica de la conciencia, los universos paralelos, la naturaleza de la realidad física y las especulaciones sobre una teoría unificada de la gravedad cuántica, colocan la hipótesis de Planck solo a nivel del impacto que tuvo cuando Peter Debye mostró, basado en ella, el comportamiento de la energía vibracional de los sólidos. Hay físicos historiadores de la ciencia (Kragh, H. 2000) que son categóricos al señalar que no hubo ninguna revolución en 1900, que la importancia dada a su trabajo es sólo una gran reconstrucción histórica, un mito, y que Planck como Copérnico se convirtió en revolucionario a pesar de sí. Otros autores (Klein M, 1966, Kuhn T., 1980, Vlasak W., 2001) enfatizan sobre los conocimientos termodinámicos de Planck como el sustrato guía de su descubrimiento. En efecto, a pesar de haber sido alumno de H. Hertz, G. Kirchhoff y H. Von Helmholtz, dirigió sus primeros esfuerzos investigativos a perfeccionar las ideas de R. Clausius, quien introdujo el concepto de entropía y estableció una versión de la segunda ley de la termodinámica. Planck creía en la validez absoluta de esta ley, lo que lo hacía rechazar no sólo la versión estadística a la termodinámica dada principalmente por

L. Boltzmann, sin dudar de la hipótesis atómica sobre la cual se basaba. Para 1882, Planck pensaba que la concepción atómica de la materia era irreconciliablemente opuesta a la ley del crecimiento de la entropía, pues ésta la consideraba como altamente probable, más que como un aspecto absoluto de la naturaleza.

Es importante señalar el recorrido de la construcción planckiana como un ejemplo de ruptura epistemológica (Garrido C.,1988), tal como veremos, pues los puntos de no retorno en la ciencia nunca han dejado de estar expuesto a las reconsideraciones producto del avance de ésta. En 1895, a raíz del trabajo de W.Wien, se propuso el programa de investigación de demostrar, una vez por todas, que la segunda ley de termodinámica no era simplemente una materia de probabilidad y para ello debía determinar la irreversibilidad termodinámica en términos de algún modelo micro-mecánico o micro-electrodinámico que no involucrara explícitamente la hipótesis atómica.

En este trabajo, realizaremos en detalle un enfoque heurístico de la deducción de la fórmula de Planck en su forma original, lo que, a diferencia de la que ofrecemos de los textos, permite centrar la polémica, mitos y aristas técnicas de las bases de los conjuntos canónicos estadísticos.

EL MODELO DEL RESONADOR

Planck decidió considerar el problema de la dispersión resonante de las ondas electromagnéticas plana por una especie de dipolo oscilante de dimensión pequeña comparada con las longitudes de onda. El modelo de cuerpo negro, establecido por Kirchoff, consistía en una cavidad cerrada en la cual la radiación electromagnética se encuentra en equilibrio termodinámico con las paredes internas de ésta a una temperatura dada. El punto medular del problema es que Planck consideraba la pared formada por "resonadores" armónicos de frecuencia ν puestas a oscilar por el campo oscilante de ondas electromagnéticas de frecuencia ν , modelo que supone regiones de vibración en la

pared similar a la de zonas microscópicas de una membrana vibrante. Es decir, un sistema oscilante continuo de dimensiones mucho más pequeñas que la longitud de onda de los campos exteriores. Este fue sustituido posteriormente por el modelo del oscilador armónico, identificable con el fotón, que revierte características corpusculares y discretas, pues es asimilado a una carga eléctrica sometida a una fuerza elástica que vibra bajo la acción de un campo electromagnético armónico exterior. El modelo de Planck atañía a la polémica sobre el atomismo y, a diferencia de las teorías físico estadísticas de Boltzman, conocidas en 1895 cuando Planck inicia sus trabajos sobre el cuerpo negro, éste prefirió el enfoque termodinámico.

Ya se habían establecido, en 1894, las conocidas relaciones de Wien para el cuerpo negro

$$u_\nu = \nu^3 f(\nu/T) = \alpha \nu^3 \exp(-\beta \nu / T) \quad \alpha, \beta - \text{constantes}$$

con $u_\nu = du/d\nu$ la densidad espectral de energía por unidad de volumen, f -una función de una sola variable, como los estableció Gustav Kirchoff (1849). Debíó introducir un complicado cálculo del número de complejiones (resonadores) por unidad de volumen dentro de la cavidad que resulta ser:

$$N_J(\nu) = 8 \pi \nu^2 / c^3$$

llamado posteriormente número de Jeans, quien sugirió(1905) una mucho más fácil deducción del número de resonadores (u osciladores armónicos). Este número permite caracterizar las variables aditivas del oscilador armónico como su energía media u_0 y su entropía media s_0 . esto es,

$$u_\nu = N_J u_0 \quad s_\nu = N_J s_0 \quad (1)$$

En el caso de la segunda relación, hay que admitir que los diferentes modos de vibración son independientes, sin relación de fase entre ellos, para garantizar la linealidad. Señalemos que las entropías satisfacen la relación de aditividad sólo a condición de que los diferentes modos de vibración sean independientes sin relación de fase entre ellos, o sea que no debe haber coherencia

entre ellos; de allí que Planck introduce la hipótesis de lo que el llamó la radiación natural para remarcar la incoherencia de los resonadores, una contraparte al concepto de caos introducido por Boltzmann para las partículas de movimiento al azar. El tema de la coherencia en mecánica cuántica se estableció mucho después con la introducción de la matriz de densidad de estados.

UNA PRIMERA FORMULA DE RADIACIÓN

Planck partió de las dos leyes de la termodinámica, la conservación de la energía de un sistema que la intercambia en forma de calor dQ y trabajo dW

$$dQ = dU + dW$$

siendo dU el cambio cuasi-estático de su energía interna. Considerándose discípulo de Clausius habría de usar el concepto de entropía de este $dS = dQ/T$ que él mismo ayudó a desarrollar en su tesis doctoral (1879). Así que: $dU = TdS - PdV$ de donde,

$$\partial U / \partial S |_{V} = T \quad \text{o} \quad \partial S / \partial U |_{V} = 1/T$$

así como su variante espectral por unidad de volumen

$$ds_{\nu} / du_{\nu} = 1/T$$

y para cada uno de los resonadores

$$ds_o / du_o = 1/T \quad (2)$$

Esta es una expresión clave utilizada por Planck en su deducción de la fórmula de radiación del cuerpo negro, presentada ante la Sociedad Berlinesa de Física, el 9 de octubre de 1900, deducción que se presenta hoy bajo otras bases.

La ley de desplazamiento de Wien para un resonador usando el número de Jeans lleva a

$$u_{\nu} = \nu (N_j c^3 / 8\pi) f(\nu/T) = N_j u_o$$

o sea que $u_o = \nu F(\nu/T)$ o su expresión inversa

$$\nu/T = \Phi(u_o / \nu) \quad (3)$$

De aquí dirigió sus cálculos a la obtención de una expresión para la cantidad

$$R = (-d^2 s_n / du_n^2)^{-1}$$

que más tarde (1909), Einstein demostró que representa el cuadrado de las fluctuaciones de la radiación de estructura corpuscular mas aquella de estructura ondulatoria.

Al introducir la relación (2) en (3) tal que $ds_n = \Phi(u_n / \nu) d(u_n / \nu)$ la entropía media del resonador dependerá de una sola variable $\xi = u_n / \nu$.

De la expresión (3) y de la fórmula de Wien se observa que $u_n = u_\nu / N_j = \nu^3 \circ \alpha / N_j \circ \exp(-\beta \nu / T)$ introduciendo la constante $h = \alpha c^3 / 8\pi$ hoy llamada de Planck, resulta en

$$u_n = h\nu \exp(-\beta \nu / T) \quad (4)$$

para avanzar hacia la expresión de R se combinan las relaciones (2) y (4)

$\ln(u_n / h\nu) = -\beta \nu / T$ o $1/T = -(1/\beta \nu) \cdot \ln(u_n / h\nu) = ds_n / du_n$ integrando esta expresión, tenemos

$$ds_n = -(h/\beta) \cdot \ln(u_n / h\nu) d(u_n / h\nu)$$

Planck obtiene de aquí una interesante versión de la ley de Wilhem Wien :

$$s_n = -h/\beta \cdot \{(\ln(u_n / h\nu) - 1) \circ (u_n / h\nu)\} + const \quad (5)$$

la segunda derivada es

$$d^2 s_n / du_n^2 = -1/\beta \nu u_n \quad \text{o} \quad R = -(d^2 s_n / du_n^2)^{-1} = \beta \nu u_n \quad (6)$$

una función lineal en u_n .

Estas relaciones obtenidas en 1899 llevaron a la convicción de la mayoría de los científicos a pensar en la fórmula de Wien como la definitiva. Pero a comienzos de 1900, con el desarrollo de las técnicas experimentales en el infrarrojo, los físicos berlineses Kurlbaum, Pringsheim y Rubens mostraron que para bajas

frecuencias los resultados contradecían la teoría hasta en un 40-50%. Esto implicaba la búsqueda inmediata de otros caminos para satisfacer teóricamente las divergencias experimentales.

HACIA LA FORMULA CORRECTA

Rayleigh y Jeans observaron inmediatamente el hecho de que el comportamiento obtenido a bajas frecuencias correspondían teóricamente al modelo del oscilador armónico para el cual el principio de equipartición de energía llevaba a:

$$u_o = kT \quad \text{k-la constante de Boltzmann}$$

La revisión de la evolución del problema indica que la intervención de Rayleigh fue sólo colateral, pues Planck utilizó esta relación sobre la base de una argumentación más bien de funcionalidad. En ese sentido, cabe señalar que la fórmula de Rayleigh y Jeans no tomó parte en lo absoluto en las primeras fases de la teoría cuántica (Kragh H, 2000), ya que éste no consideraba el teorema de equipartición como fundamental y en la práctica lo ignoró. Su uso posterior corresponde mas bien a recursos didácticos de los textos, o quizás a los importantes aportes posteriores de J. Jeans en diversas ramas de la física.

Planck concluye de la última expresión de que a estas frecuencias

$$ds_o / du_o = 1/T = k / u_o \quad \text{o} \quad d^2s_o / dv_o^2 = -k / u_o^2$$

de donde se obtiene que $R = -(d^2s_o / du_o^2)^{-1} = 1/k \cdot u_o^2$ (7)

una función cuadrática en u_o . Las relaciones (6) y (7) son los casos extremos, respectivamente, cuando la frecuencia es pequeña con valores u_o grandes y cuando la frecuencia es grande con valores de u_o pequeños. Este ultimo argumento, usado ahora en las demostraciones didácticas, llevó a Planck a argüir que un buen ansatz (realización de un reemplazo conceptual de variables) sería simplemente tomar la suma de ambas expresiones como propuesta para explicar los datos experimentales de la radiación del cuerpo negro, un argumento de cálculo y no de fundamentación física.

$$R = \beta v u_o + k u_o = (-d^2s_o / d^2)^{-1} \quad (8)$$

Esta combinación de dos casos extremos, sin justificación teórica llevaría a la fórmula correcta. Observando los gráficos de Rubens y Kurlbaum de 1901 se puede afirmar (Carson C., 2000) que Planck obtuvo una interpolación razonable, lo que hoy se llamaría un buen ajuste.

Luego de pasar (8) a fracciones parciales nos queda integrar la expresión

$$d^2 s_o / du_o^2 = 1 / \beta v \cdot \{-1/u_o + 1/(k\beta v + u_o)\}$$

o sea

$$ds_o / du_o = 1/T = 1 / \beta v \cdot \{\ln(u_o + k\beta v) - \ln u_o + \ln const\}$$

$$= 1 / \beta v \cdot \ln(1 + k\beta v / u_o) + const$$

Sabemos que cuando v es pequeño $1/T = k / u_o$. Igualando y expandiendo en serie la función logarítmica para v pequeño, se obtiene la aproximación

$k / u_o = 1 / \beta v \cdot \ln(1 + k\beta v / u_o) + const \cong k\beta v / \beta v u_o + const$
lo que anula la constante. Ahora, una simple operación algebraica nos lleva a

$$u_o = \frac{k\beta v}{e^{k\beta v/T} - 1}$$

Cuando v es grande esta expresión se aproxima a: $u_o = k\beta v \cdot e^{-k\beta v/T}$ que al compararla con la expresión (4) de la ley de Wien se tiene que $k\beta = h$, de donde

$$u_o = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (9)$$

rápidamente se observó que, la expresión concluyente de Planck

$$u_\nu = N_J u_o = (8\pi h \nu^3 / c^3) \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (10)$$

se ajustaba muy bien a los recientes datos experimentales. Observe que lo discreto deriva indirectamente de el número discreto de resonadores N_J que no aparece en forma explícita.

Planck consideró su ansatz como un "feliz hallazgo" (Kastler A., 1983), por lo que se propuso encontrar un fundamento teórico a la fórmula, para lo cual se volcó, aunque con reticencias, hacia las ideas de Boltzmann, pero (y esto es importante) las usó reinterpretándolas en sus propios términos probabilísticos.

LAS CONSTANTES UNIVERSALES : a y β

En su presentación publicada en 1901 para la revista *Annales der Physik*, Planck utilizó como relación de partida:

$$\partial^2 s / \partial u^2 = -f(u) \quad (11)$$

Supongamos que en vez de perturbar un solo resonador en una cantidad Δu , a partir del equilibrio, desplazamos n resonadores en la misma cantidad $\Delta u = n\Delta u_0$. Siendo la entropía aditiva

podemos considerar que el cambio total de esta para los n -resonadores en función del cambio uno de ellos Δu_0 debe ser

$\Delta s = n\Delta s_0$ por lo que de (11) se obtiene

$$\partial s / \partial u = -f(u)\Delta u \quad \text{o sea} \quad ds = -f(u)\Delta u du$$

que para un resonador individual es

$$ds_0 = -f(u_0)\Delta u_0 du_0$$

ya que $\partial^2 s_0 / \partial u_0 = -f(u_0)$

y para n de ellos $nds_0 = -nf(u_0)\Delta u_0 du_0 = -f(nu_0)n^2 \Delta u_0 du_0$

de donde $f(u_0) = n f(nu_0)$ relación que se satisface sólo si

$$f(u_0) = -a/u_0 \quad a - const$$

como se puede comprobar fácilmente o sea

$$\partial^2 s_0 / \partial u_0^2 = -a/u_0 \quad \text{o} \quad (-\partial^2 s_0 / \partial u_0^2)^{-1} = u_0 / a \quad (12)$$

Para generalizar, Planck asume (12) como el primer término de una descomposición en serie de potencias de u_0 , al cual le agrega el siguiente término

$$(-\partial^2 s_0 / \partial u_0^2)^{-1} = u_0 / a + \beta u_0^2 \quad \beta - const$$

Lo que lleva a la expresión

$$\partial^2 s_o / \partial u_o^2 = -\frac{a}{u_o(1+bu_o)} \quad b - \text{const} \quad (13)$$

o en fracciones parciales

$$\partial^2 s_o / \partial u_o^2 = \frac{a}{u_o} - \frac{a}{1/b + u_o}$$

que luego de la integración y usando (2) se obtiene

$$ds_o = a \ln\left(\frac{1/b + u_o}{u_o}\right) du_o = du_o / T$$

despejando u_o se obtiene finalmente

$$u_o = \frac{1/b}{e^{1/aT} - 1}$$

comparando con la relación de Wien (5) se colige que

$$1/b = h\nu \quad \text{y} \quad 1/a = \beta\nu$$

o sea
$$u_o = \frac{h\nu}{e^{\beta\nu/T} - 1}$$

y para bajas frecuencias esta lleva a

$$u_o \cong hT / \beta = kT \quad \text{o} \quad \beta = h/k$$

con lo cual se obtiene la fórmula de Planck (9) para la energía de un resonador. En su versión original, se presenta la relación (13) como el ansatz perfectamente análogo a (8).

Es necesario comentar aquí, independientemente de la interpretación que daría sobre la cuantización de la energía del resonador, que las constantes k y h entraron en existencia debido al requisito de que se cumpla la ley de desplazamiento, la que lleva a hacer el quantum de energía proporcional a la frecuencia (reemplazando las constantes a y β). Siendo $k=R/N_o$, R -la constante de los gases ideales y N_o - el número de Avogadro, Planck logró obtener el valor de R y con la constante de Faraday, la masa de los átomos y nada menos que la carga del recién descubierto electrón (Planck M., 1901). Los valores obtenidos $h= 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg-sec, $k= 1,346 \cdot 10^{-16}$ erg/grad y $e= 4,69 \cdot 10^{-12}$ ues son los más precisos de los obtenidos hasta entonces; aunque sus contemporáneos no evaluaron adecuadamente estos resultados, sólo hasta que Rutherford lo empleara en su trabajo sobre la

estructura de la materia. Con ello introduce, en resonancia con su carácter de buscador de lo universal absoluto, el sistema absoluto de unidades de medida: la constante de gravitación universal G , la rapidez de la luz c y su constante h (que luego llamó h igual a $6,55 \cdot 10^{-27}$ erg-sec). Para él, el uso de las líneas D del sodio parecían tener un carácter antropomórfico, por lo que consideró las constantes G , c y h "independientes de los cuerpos específicos o sustancias, tales que deben mantener su significado para todos los tiempos y todas las culturas incluyendo las extraterrestres y las no-humanas" (Klein M., 1966)-

HACIA LA FUNDAMENTACION DEL QUANTA

Frente a la interpretación física de sus resultados, Planck (Planck M., 1900) consideró que debería dar un mejor fundamento a su fórmula, para lo cual decidió abandonar el escepticismo respecto a las ideas atomísticas de Boltzmann y sus métodos probabilísticos y le atribuye a la energía radiante una estructura discontinua y la dividió en un número finito de elementos de energía E :

$$u_\nu = NE = N_j u_o$$

Define el número medio de elementos de energía radiante por resonador como $n = N / N_j = u_o / E$

Obsérvese que en la forma de asignar la energía con $N_j \neq N$, Planck presentó a lo largo de su vida científica serias dudas sobre esta su hipótesis. Treinta años después admitiría que esto fue un "acto de desesperación", o sea una pura suposición que le sirvió para encontrar un resultado positivo. Estas posiciones dieron lugar a una discusión sobre su rol en el descubrimiento de la existencia del quanta o fotón. Las dudas de Planck aún son consideradas por algunos físicos que cuestionan la teoría cuántica, la que "continúa dominando la ciencia debido a las influencias puramente subjetivas de Thomas Kuhn" (Kirilyuk A., 2000).

El uso de la fórmula de Boltzmann $S = k \ln W$ llevó a la necesidad de calcular W obteniendo

$$W = \prod_v W_v \quad y \quad W_v = \frac{(N + N_j - 1)!}{N!(N_j - 1)!} \quad (14)$$

conocida expresión de la física estadística. Recordemos que W es la llamada probabilidad termodinámica, o sea el número de configuraciones diferentes de distribución de N elementos de energía radiante entre los N_j resonadores. Es de interés señalar que esta forma del postulado de Boltzmann se debe al propio Planck, quien a su vez definió la constante k , curiosamente hoy denominada de Boltzmann; y la versión de Boltzmann, de quien lleva el nombre esta fórmula, estaba contenida en el conocido teorema H de este último. Ahora, a pesar de que la estadística de Bose-Einstein se estableció sólo en 1924, fundamentando la relación (14) para sistemas de elementos indistinguibles de spin entero, Planck la dedujo bajo otros preceptos para el cálculo de la entropía de un sistema de micro resonadores, físicamente compuesto de elementos distinguibles.

El cálculo es similar al habitual para las variables termodinámicas. Usando la fórmula de Stirling $\ln N! \cong N \ln N - N$ se observa, usando la definición de n que

$$s_v = k \ln W_v = k \{ \ln(N + N_j)! - \ln N! - \ln N_j! \} \\ = k N_j \{ (1 + n) \ln(1 + n) - n \ln n \}$$

o bien, usando la definición de n

$$s_v = k \left\{ \left(1 + \frac{u_v}{E}\right) \ln \left(1 + \frac{u_v}{E}\right) - \frac{u_v}{E} \ln \frac{u_v}{E} \right\}$$

aplicando la derivada a

$$ds_v / du_v = 1/T = \frac{k}{E} \ln \left(1 + \frac{E}{u_v}\right)$$

de aquí que $u_v = \frac{E}{e^{E/kT} - 1}$, al compararla con la relación (9), nos lleva a la definición de la energía E para cada porción de los N elementos de radiación

$$E = h\nu \quad (15)$$

el conocido paquete de energía de radiación o quantum de radiación (quantum era denominación en los puertos de Alemania a los paquetes de carga de los barcos). Esta nueva deducción fue

presentada por Max Planck ante la Sociedad de Física de Berlín, el 14 de diciembre de 1900, marcando una nueva fase en el desarrollo de la física contemporánea.

CONCLUSIÓN

La Teoría de los Cuantos es el producto de un proceso en el cual intervinieron varios científicos, que germinó con los intentos de crear una teoría del comportamiento de la radiación pura, al que se dio un giro profundo e imprevisto con el programa de investigación de Planck, consistente en establecer la absolutez del segundo principio de termodinámica, para lo cual eligió el problema de la radiación del cuerpo negro como vía de probarla. En la conferencia Solvay de 1911, que versó sobre la teoría de la radiación y el cuanto, estuvieron varios de ellos presentes y constituyó una especie de reconocimiento institucional de la teoría, aun antes del descubrimiento de la estructura atómica por N. Bohr. Quizás por ello, sólo en 1912, Planck abandonó sus reservas sobre la naturaleza estadística de la segunda ley, pero no así sus trabajos sobre los mecanismos de absorción y emisión del resonador. Está claro que no tomó h para indicar la discontinuidad física que expresa la atomicidad de la energía (lo que sí hizo Einstein al aplicar la termodinámica a la luz ella misma). Quizás, como alguno afirma, la teoría cuántica no pertenece en sus orígenes a ninguna falla de la física clásica, sino a la convicción de Planck en la termodinámica (Kragh H., 2000), pero consideramos que el cuanto es el producto de un verdadero Programa de Investigación, según los términos de Imre Lakatos (Lakatos I., 1983). Planck presentó variantes y ajustes (Boudenot J.C. y Cohen-Tannoudji G., 2001) a su teoría sin llegar muy lejos; producto de ello, realizó un importante descubrimiento al obtener un término adicional a su fórmula: el término $h\nu/2$ que no desaparece al cero absoluto y al que le dio el nombre de energía del punto cero, confirmada posteriormente (en 1928) con experimentos de las intensidades de difracción del haz de rayos X.

En el diagrama 1 sintetizamos el proceso del descubrimiento de Planck. Es visible de él las categorías físicas y su evolución, que hemos querido alejarlas de mitologías creadas en el paso del siglo.

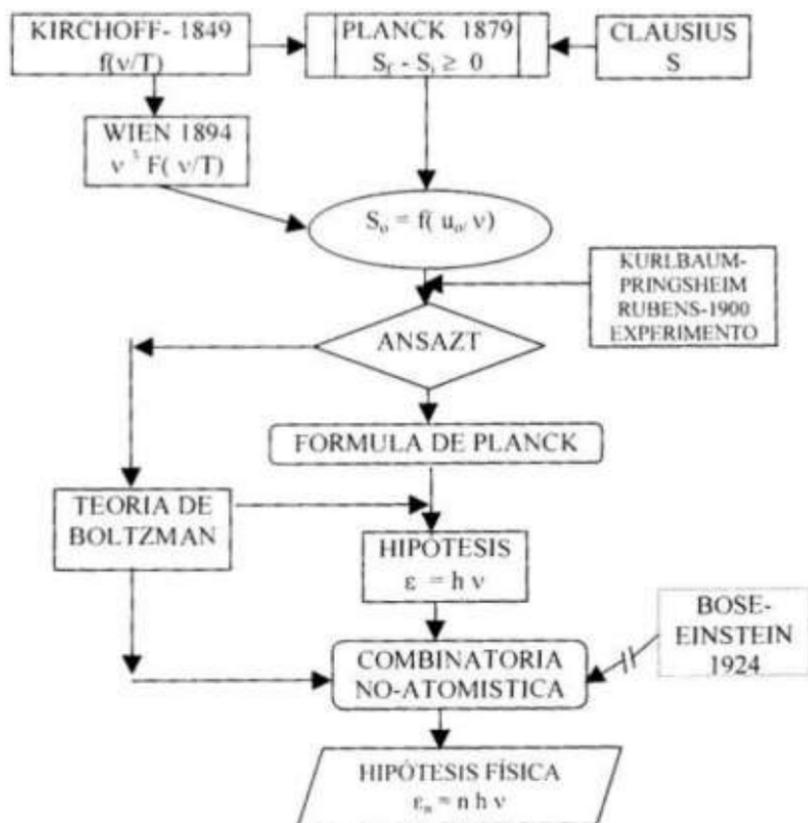


Fig.1. Programa Planckiano.

Las ideas de Kirchoff y Clausius generan el subprograma de Planck para demostrar la absolutez del principio de crecimiento de la entropía, aplicado a la radiación del cuerpo negro, ampliando así de la mecánica al electromagnetismo los principios de la termodinámica. Al obtener su versión de la ley de Wien, los datos experimentales refutan su universalidad, lo que lo lleva a la decisión de introducir su ansatz resultado, de lo cual deduce la interpolación correcta. Para justificar el hallazgo, debe hacer uso

de la teoría estadística de Boltzman, postulando la distribución de energía por paquetes a la radiación. Un replanteamiento del problema lo encarrila, a través de las ideas cinéticas de Boltzman, a realizar una reformulación, mediante conceptos combinatorios (matemática más no físicamente similares a los que posteriormente harían Bose y Einstein), pero de naturaleza no atomística, tanto de la deducción de la fórmula como del carácter discontinuo de la energía.

Hoy, más de 25 % del producto nacional bruto de los Estados Unidos, para citar solo un ejemplo, se considera que depende de tecnologías provenientes de los fenómenos cuántico (Bjorken J., 2000), lo que lleva a pensar que la teoría cuántica está bien cimentada. Pero, al no estar resueltas sus paradojas, la física no-lineal, las cuerdas, la gravedad cuántica, etc., parecen ser perspectivas que podrían superarla o bien hacerla desaparecer en ellas.

ABSTRACT

The concept of discontinuity for a dynamical variable, as the energy, introduced a breakdown in Hamilton-Lagrange's physics given by means of a process having its deepest expression in the discovery of the quanta by Max Planck 100 years ago. This work presents a short interpretation of the above situation, within in the context of those times state of the art of electrodynamics, radiation thermodynamics and kinetic theory. Since the use of the continuous physical model of resonator, it seems necessary an adjustment in the kinetic concepts of the physics of the corpuscles which could lead to a discreet distribution of energy among the resonators. In doing so, the atomistic point of view was not introduced in explicit form. Even so, the characterization of the black body is restricted only for the interchange absorption-emission, leaving like collateral the description of the behavior of the pure radiation. The use of the entropy, central category in the Planck's physical thought, very close to irreversibility of the processes, allow us to give rise to a heuristic analysis, analogous to his calculations. It can be shown the way the formulae describing the radiation of the black body may be obtained but emphasizing the fundamental point consisting of a interpolation draft more than a deduction, based on physical hypotheses. This fact has given place to a polemic on the authorship of the discovery of the energy quantization re-arising on the occasion of the centenary of what is considered as the beginning of quantum physics. On its matter, this work will be limited to some

criteria that necessarily must be used for methodological and philosophical reasons. In the assesment of the Planck's program, the complexity of the epistemological construction of a new law is observed, never linear, and does not include the contribution of Planck's contemporaries. Finally, a perception on the universal constants and the zero point energy is given to make explicit the existence of edges which can always be deduced from the kernel of any principal program.

REFERENCIAS

- Bjorken, J. 2000. The futur of the Quantum Theory. *Beam Line*. Vol. 30 No2.pg2.
- Boudenot, J.C., & G. Cohen-Tannoudji 2001. Max Planck et la naissance de la mécanique quantique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*. Vol. 15. fevrier. Pg.349.
- Carson, C. 2000. The origins of the quantum theory. *Beam Line*. Vol. 30, No2. pg.6.
- Garrido, C. 1988. Un enfoque histórico-epistemológico de la teoría de los cuantas. *Rev. Scientia*. Vol. 3, No 2 pg.49.
- Kastler, A. 1983. Max Planck et le concept de quantum d'énergie lumineuse. *Ann. de la Fondation Louis De Broglie*. Vol. 8, No.4, pg. 287.
- Kirilyuk, A.P. 2000. 100 years of quanta: complex-dynamical origin of Planck constant and causally complete extension of quantum mechanics. *ArXiv:quant-phys/0012069*, 14 dec.
- Klein, M. 1966. Thermodynamics and Quanta in Planck's Work. *Physics Today*. Vol. 19, No 11, pg.23.
- Kragh, H. 2000. Max Planck: the reluctant revolutionary. *Physics World*. Dec. Vol. 13. Issue 12. Article 9.
- Kuhn, T. S. 1980. *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*. Alianza Editorial. Madrid.

Lakatos, I. 1983. La Metodología de los Programas de Investigación Científica. Alianza Editorial. Madrid.

Planck, M. 1900. On entropy and temperature of the radiant heat. Ann.Phys. Vol. 4. No.1, pg.719.

Planck, M. 1901. About the law of energy distribution in normal spectrum. Ann. Phys.Vol. 4. No 4, pg. 553.

Soassky, B. 1964. Istoria Fisiki. Ed. Moskovskii Universitet. Tom II. Moskova.

Tegmark, M. & J. Wheeler 2001. 100 years of the quantum. Scientific American Vol. 2, pg. 68.

Vlasak,W. 2001. Planck theory and thermodynamics. Chemical Innovation. Vol. 31, No. 2, pg.56.

Recibido junio del 2001, aceptado agosto del 2001.

ENTOMOFAUNA ACUÁTICA ASOCIADA AL RÍO SANTA CLARA EN VERAGUAS, REPÚBLICA DE PANAMÁ.

Viterbo E. Rodríguez y Nereida Sánchez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

e-mail: viterbor@yahoo.com

RESUMEN

Este estudio se realizó con la finalidad de determinar la entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara, en la Provincia de Veraguas. Se recolectaron los insectos entre los meses de febrero a agosto del 2000 cada dos semanas, en cada una de las cuatro estaciones. Se utilizaron diferentes métodos de captura de acuerdo al sustrato. Una red acuática tipo D-Net, para realizar los barridos en el fondo y en la vegetación marginal sumergida, pinzas entomológicas para desalojar los insectos de sus refugios en las rocas. También nos ayudamos con una red de mano, para capturar los insectos nadadores y los que se encontraban sobre la película de agua. La entomofauna asociada al Río Santa Clara consiste en 54 géneros agrupados en 27 familias que pertenecen a 6 órdenes. El Orden Hemiptera, es el más abundante en cuanto al número de géneros, registró 17 géneros distribuidos en 8 familias; seguido del Orden Odonata con 15 géneros agrupados en 7 familias; el Orden Coleoptera reportó 11 géneros distribuidos en 6 familias; el Orden Ephemeroptera con 8 géneros que pertenecen a 3 familias; el Orden Trichoptera presentó dos familias y dos géneros; y el Orden Neuroptera con 1 familia y 1 género.

PALABRAS CLAVES

Entomofauna acuática, Río Santa Clara.

INTRODUCCIÓN

Los insectos incluyen cerca del 80% de la totalidad de las especies del Phylum Arthropoda, de allí que siendo tan numerosos, su distribución y adaptación a los diversos medios que habitan sean igualmente variados; llegan a ser abundantes en charcos, estanques, pantanos de agua dulce y hasta los formados por agua salobre, sin embargo, son pocos los insectos adaptados a las aguas marinas (Gaviño *et al.*, 1990).

Menos del uno por ciento del total de especies registradas se encuentran vinculadas al agua durante su ciclo de vida; así tenemos que casi todas las especies de los órdenes Odonata, Plecoptera, Ephemeroptera y Trichoptera, tienen su desarrollo en los ambientes acuáticos. Son órdenes relativamente pequeños y están en números significativamente pequeños cuando se compara con los grandes órdenes Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera y Diptera donde sólo un pequeño porcentaje de especies son acuáticas (Pennack, 1978).

Los hábitats acuáticos contienen menos oxígeno que los ambientes terrestres, aún bajo las condiciones más favorables. Así, el contenido de oxígeno disuelto en el agua es a menudo altamente variable y en algunos hábitats puede estar ausente. Esta condición particular demanda de los insectos diversas opciones para la obtención del oxígeno mediante un sistema traqueal eficiente. Los insectos acuáticos poseen un sistema respiratorio que les permite obtener y transportar el abundante oxígeno desde la atmósfera. Sin embargo, los insectos que emplean oxígeno disuelto en el agua presentan una situación muy diferente (Eriksen *et al.*, 1988).

Al igual que los ecosistemas terrestres, el medio acuático posee una evidente cadena de alimentación. Las algas y demás plantas acuáticas constituyen la principal fuente productora del ecosistema; luego surgen los consumidores primarios, representados por insectos vegetarianos como, por ejemplo, el orden Lepidoptera. Entre los clásicos depredadores del ecosistema están los órdenes: Odonata, Hemiptera, Coleoptera, y

sobre todo el orden Megaloptera. Un tercer grupo de consumidores son aquellos que deshacen restos de otros organismos asentados en el substrato transformándolos en detritus; pertenecen a ellos los ordenes Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera y Plecoptera (Merritt & Cummins, 1988).

Los ecosistemas acuáticos continentales, lóticos y lénticos, más que ningún otro ecosistema, son los que han sufrido mayormente los impactos causados por la actividad humana en las últimas décadas. Los desechos industriales y domésticos de una población cada vez más creciente tienen como destino final los ríos y, en último término, el mar. Por ello, el uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua, tiene cada vez mas aceptación entre los ecólogos y es uno de los métodos usados en la evaluación de los impactos ambientales causados por el desarrollo de la ingeniería moderna, que en alguna forma afecta los ecosistemas acuáticos (Roldán, 1988).

Son pocos los trabajos publicados sobre estos temas, por lo general, son realizados por estudiantes de tesis, entre los que podemos mencionar: Wittgreen & Villanero, (1998); Rodríguez & Bonilla, (1999); Rodríguez *et al.*, (en prensa); Araúz, (1995); Arosemena, (1995); Mendieta & García, (1987); Murgas & Pinto, (1987); Alramar & García (1985); Urriola & Chan, (1981); y Álvarez *et al.*, (1980). En la actualidad se hace necesario estudios sobre la entomofauna de los ecosistemas acuáticos, ya que brindan información sobre las condiciones biológicas de nuestros recursos hídricos.

El objetivo del presente trabajo es determinar las familias y géneros representativos de la entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio.

El área de estudio se encuentra localizada en el Río Santa Clara, Provincia de Veraguas, en la vertiente del Pacífico. El Río

Santa Clara atraviesa las comunidades de Martincito, Santa Clara, La Valdez y Piedra del Sol, en las cuales se establecieron las estaciones de muestreo de 50 metros cada una.

Características de las estaciones de muestreo

A lo largo del trayecto del Río Santa Clara, cada estación de muestreo presenta diferentes características, entre las cuales tenemos: sustrato rocoso, arenoso, fangoso, mucha o poca vegetación marginal y abundante o no hojarasca.

Estación 1: Se encuentra ubicada en la comunidad de Martincito, presenta sustrato arenoso con acumulación de hojarasca en la orilla, hay poca vegetación marginal. Hacia uno de los extremos de la estación es una área rocosa.

Estación 2: Ubicada en la comunidad de Santa Clara, presenta un sector de corrientes rápidas, el otro sector se caracteriza por un sustrato areno-rocoso. La vegetación marginal y la presencia de hojarasca es muy poca.

Estación 3: Localizada en la comunidad de La Valdez, presenta abundante vegetación marginal, árboles, arbusto y enredaderas. Tiene una sección de corriente rápida con sustrato areno-rocoso y otra sección de corriente lenta con sustrato rocoso y mucha hojarasca.

Estación 4: Se encuentra en la comunidad de Piedra del Sol y se caracteriza por presentar corriente lenta, abundante hojarasca, sustrato fangoso y la vegetación marginal es casi nula, solamente hay raíces de grandes árboles.

Recolección y Procesamiento de Muestras

La recolección de insectos se realizó dos veces al mes en cada estación de muestreo, durante los meses comprendidos entre febrero y agosto del 2000, teniendo como resultado 12 giras para cada estación. Se utilizaron diferentes métodos de

captura de acuerdo al sustrato. Una red acuática tipo D-Net, para realizar los barridos en el fondo y en la vegetación marginal sumergida, pinzas entomológicas para desalojar los insectos de sus refugios en las rocas. También nos ayudamos con una red de mano, para capturar los insectos nadadores y los que se encontraban sobre la película de agua. El tiempo designado, para la recolecta, en cada estación fue de una hora y se realizaba en la mañana.

Concluida la captura de insectos, los ejemplares se depositaron en recipientes de vidrio con alcohol al 70% y se le añadió de tres a cuatro gotas de glicerina para mantener blandas y flexibles las estructuras (Roldán, 1988). Posteriormente, las muestras se trasladaron al Centro Regional Universitario de Veraguas donde se determinaron las familias y géneros con la ayuda de las claves de Roldán, (1988); Novelo-Gutiérrez, (1997^a, 1997^b); Westfall, (1988); Edmunds, (1988); Wiggins, (1988); White *et al.*, (1988); Polhemus, (1988); Evans & Neuazig, (1988) y Donnelly, (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara fue de 54 géneros agrupados en 27 familias que pertenecen a 6 órdenes. El Orden Hemiptera fue el que presentó el mayor número de géneros con un total de 17, agrupados en 8 familias, seguido del Orden Odonata con 15 géneros que pertenecen a 7 familias, el Orden Coleoptera registró 11 géneros en 6 familias, el Orden Ephemeroptera con 8 géneros agrupados en tres familias, el Orden Trichoptera presentó dos familias y dos géneros y el Orden Neuroptera con una familia y un género (Cuadro No.1).

Estudios realizados en el Río La Villa, Provincia de Los Santos, arrojan un total de 33 géneros de insectos agrupados en 17 Familias y 6 Ordenes (Wittgreen & Villanero, 1998). Al igual que con el realizado en el Río Chico, Provincia de Coclé (Arosemena, 1995), que reportó 26 géneros de insectos en 19 familias y 7 órdenes; y con los de la Provincia de Veraguas, para el área de Los Corrales, (Rodríguez & Bonilla, 1999) reportaron un total de

nuestro trabajo. Quirós y Villar (1999) reportan 10 familias y 15 géneros, de éstas 5 fueron encontradas en nuestro trabajo: Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Chrysomelidae y Dryopidae.

En el Orden Ephemeroptera se capturaron 8 géneros incluidos en tres familias; Quirós & Villar (1999) reportan 7 géneros de los cuales solamente cuatro coinciden con éste estudio. Rodríguez & Bonilla (1999) registran 11 géneros agrupados en 5 familias. Flower (1992) presenta una lista revisada de las especies de Panamá y Costa Rica en la que se encuentran 8 familias y 22 géneros. Las ninfas de Ephemeroptera siempre se encontraban adheridas a rocas, entre la hojarasca, en la vegetación sumergida o en corrientes rápidas.

Con respecto al orden Trichoptera se reportan dos familias y dos géneros y de éstos el género más comúnmente encontrado fue **Leptonema**. Rodríguez & Bonilla (1999) reportan tres géneros y dos familias; Quirós & Villar (1999) reportan un género sin determinar, que pertenece a la familia Hydropsychidae. En nuestro estudio el orden Trichoptera fue común encontrarlo entre la hojarasca sobre fondo arenoso y fangoso.

El orden Neuroptera registró un solo género, **Corydalus**; de la familia Corydalidae, generalmente, se encontraba debajo de las piedras y en aguas rápidas. Trabajos realizados por Wittgreen & Villanero (1998); Rodríguez & Bonilla (1999); Quirós & Villar (1999) reportan el género, en el mismo tipo de hábitat registrado en nuestro estudio.

CONCLUSIONES

La Entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara, Provincia de Veraguas, comprende 54 géneros distribuidos en 27 familias y a 6 órdenes.

El mayor número de géneros fue recolectado dentro del orden Hemiptera con un total de 17 géneros.

El orden Odonata reportó 15 géneros; para el sub-orden Anisoptera se capturaron 9 géneros y para el sub-orden Zygoptera 6 géneros.

ABSTRACT

Searching to determine the families and genus of aquatic insects of Santa Clara river, in the District of Santiago, Province of Veraguas, Republic of Panama, since the month of February to August, 2000, there were collected 6 orders assorted in 27 families and 54 genus. The insects were collected with a type of D-net with a mesh of 1 mm., and were used pincers in the rocky substrate lodge. The most representatives orders related to the number of families and genus were: The Hemiptera with 8 families and 17 genus; Odonata with 7 families and 15 genus; Coleopteran with 6 families and 11 genus. The less representatives orders were the Ephemeroptera with 3 families and 8 genus; Trichoptera with 2 families and 2 genus and Neuropteran with one family and one genus.

REFERENCIAS

Altamar, A. & García, V.1985. Cria en el Laboratorio, Estudio de la Ecología y del Ciclo de Vida del Orden Ephemeroptera (Insecta) en el Río La Puente, Panamá. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología, Universidad de Panamá. 89 pp.

Alvarez, L; R. Amores; R. Pacheco; Y. Aguila & R. Rivera, (1980); An Ecological Study of the San Felix River in Western Panamá, Republic of Panamá; RTZ -Development Enterprises, Inc., Universidad de Panamá.

Araúz, B.E., (1995). Abundancia y distribución de Macroinvertebrados acuáticos en el Río Chico, Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología, Universidad de Panamá. 113 pp.

Arosemena, Z., (1995). Reconocimiento Bioecológico del Río Chico y su Cuenca Hidrográfica, Provincia de Coclé, República de Panamá. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias

Naturales y Exactas. Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 273 pp.

Donnelly, T.W. (1992). The Odonata of Central Panama and their position in the neotropical odonate fauna, with a checklist, and descriptions of new species. *Insects of Panama and Mesoamerica select studies*. Eds: Quintero, D. and Aiello, A. University Press. pp 52-90.

Edmunds Jr., G.F. (1988). Ephemeroptera. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 94-125.

Eriksen, C.H.; V. H. Resh; S. S. Balling & G. A. Lamberty (1988). Aquatic Insect Respiration. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 27-37.

Evans, E.D. & H. H. Neuazig. (1988). Megaloptera and aquatic Neuroptera. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 261-170.

Gaviño, G.; J. C. Juárez & H. H. Figueroa. (1990). Técnicas Biológicas Selectas de Laboratorio y de Campo. Editorial Limusa. México. 252 pp.

Mendieta, V. & C. García. (1987). Estudio Bioecológico del Río Guararé y su Cuenca Hidrográfica, Provincia de los Santos, Panamá. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 159 pp.

Merritt, R. M. & W. K. Cummins. (1988). Ecology and Distribution of Aquatic Insects. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W.

And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 59-75.

Murgas, B. F & I. N. Pinto. (1987). Estudio Bioecológico de Río Grande. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 161 pp.

Novelo-Gutiérrez R., (1997a). Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México Parte I. Zigoptera. Dugesiana, 4(1): 1-10.

Novelo-Gutiérrez R., (1997b). Clave para la determinación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México Parte II. Anisoptera. Dugesiana 4(2): 31-40.

Pennack, R. W.(1978). Fresh Water Invertebrates of the United States. Nueva York: John Wiley and Sons, pp. 464-803.

Polhemus, J.T., (1988). Aquatic and Semiaquatic Hemiptera. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp 231- 260.

Quirós T., L.M. & E. L. Villar. (1999). Estudio taxonómico de Insectos Acuáticos del Ciruelito del Distrito de Atalaya, provincia de Veraguas, República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 77 pp.

Rodríguez, V. & E. Bonilla. (1999). Estudio Taxonómico de la Comunidad de Insectos Acuáticos en Los Corrales, Distrito Cabecera de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá. Scientia . Vol. 14(2), 65-77.

Rodríguez, V. & M. L. Barrera & Y. A. Delgado (en prensa). Insectos Acuáticos de La Quebrada El Salto, en Las Palmas de Veraguas, Panamá. Scientia. Vol. (15):1.

Roldán, G., (1988). Guía para el Estudio de Macroinvertebrados Acuáticos. Departamento de Antioquia. Fondo para la Protección del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 217 pp.

Urriola, R. & V. L. Chan. (1981). Estudio Cualitativo de la Fauna del Río La Puente con especial énfasis en los Insectos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 250 pp.

Westfall Jr., M.J. (1984). Odonata. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp. 126-176.

White, D.S.; W. N. Brigham & J. T. Doyen. (1988). Aquatic Coleoptera (eds). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp. 361-437.

Wiggins, G.B., 1988. Trichoptera. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Eds: Merritt R. W. And Cummins, K. W. Debuque, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, pp.270-311.

Wittgreen, Z. & S. Villanero. (1998). Inventario de Macroinvertebrados en el Río La Villa, Península de Azuero. Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Panamá. 122 pp.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimiento a los profesores Omar Batista y Fulvia Escobar por sus atinados comentarios. De manera muy especial, consignamos nuestra gratitud a los profesores Ernesto Mendoza, Carlos Ruiz, Rubén Mendoza y al técnico Olmedo Pimentel por su valiosa ayuda.

Agradecemos a los dos revisores anónimos por sus atinados comentarios.

Recibido julio del 2001, aceptado septiembre del 2001.

ANEXO

Cuadro No.1. Entomofauna acuática asociada al Río Santa Clara, Provincia de Veraguas.

ORDEN	FAMILIAS	GÉNEROS
ODONATA	GOMPHIDAE	<i>Agriogomphus</i>
		<i>Phyllogomphoides</i>
		<i>Erpetogomphus</i>
		<i>Progomphus</i>
	LIBELLULIDAE	<i>Perithemis</i>
		<i>Dythemis</i>
		<i>Miathyria</i>
		<i>Erythrodiplax</i>
	CORDULIIDAE	<i>Epicordulia</i>
	COENAGRIONIDAE	<i>Argia</i>
		<i>Acanthagrion</i>
<i>Sin determinar</i>		
CALOPTERYGIDAE	<i>Hetaerina</i>	
MEGAPODAGRIONIDAE	<i>Heteragrion</i>	
PLATYSTICTIDAE	<i>Palaemnema</i>	
HEMIPTERA	GERRIDAE	<i>Eurygerris</i>
		<i>Trepobates</i>
		<i>Limnogonus</i>
		<i>Brachymetra</i>
	NAUCORIDAE	<i>Ambrysus</i>
		<i>Pelocoris</i>
		<i>Heleocoris</i>
	GELASTOCORIDAE	<i>Gelastocoris</i>
		<i>Nerthra</i>

ORDEN	FAMILIAS	GÉNEROS
HEMIPTERA	NOTONECTIDAE	<i>Buenoa</i>
		<i>Martarega</i>
	NEPIDAE	<i>Ranatra</i>
		<i>Curicta</i>
	VELIIDAE	<i>Rhagovelia</i>
		<i>Stridulivelia</i>
BELOSTOMATIDAE	<i>Belostoma</i>	
HYDROMETRIDAE	<i>Hydrometra</i>	
EPHEMEROPTERA	LEPTOPHLEBIIDAE	<i>Farrodes</i>
		<i>Thraulodes</i>
		<i>Traverella</i>
		<i>Terpides</i>
		<i>Choroterpes</i>
	TRICORYTHIDAE	<i>Tricorythodes</i>
		<i>Leptohiphes</i>
BAETIDAE	<i>Moribaetis</i>	
TRICHOPTERA	HYDROPSYCHIDAE	<i>Leptonema</i>
	POLYCENTROPODIDAE	<i>Polycentropus</i>
COLEOPTERA	DRYOPIDAE	<i>Pelonomus</i>
		<i>Sin determinar</i>
	HYDROPHILIDAE	<i>Tropisternus</i>
		<i>2 Sin determinar</i>
	DYTISCIDAE	<i>Thermonectus</i>
		<i>Cybister</i>
		<i>Sin determinar</i>
	GYRINIDAE	<i>Gyretes</i>
STAPHYLINIDAE	<i>Sin determinar</i>	
CHRYSOMELIDAE	<i>Sin determinar</i>	
NEUROPTERA	CORYDALIDAE	<i>Corydalus</i>



MOLUSCOS DEL PACÍFICO VERAGUENSE, PARTE I (CLASES: BIVALVIA Y POLIPLACOPHORA)

Angel Javier Vega y Aida González

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas,
angeljv@crwp.net.pa

RESUMEN

Se presenta una lista de moluscos marinos del Pacífico veraguense, Panamá, obtenida de estudios en el Parque Nacional Coiba y de una revisión de literatura. La lista incluye 277 especies: 261 Bivalvia y 16 Polyplacophora.

PALABRAS CLAVES

Moluscos, Bivalvia, Polyplacophora, Pacífico veraguense, inventario.

INTRODUCCIÓN

Para la República de Panamá, los estudios efectuados sobre el phylum Mollusca indican que existe un aproximado de 3757 especies, agrupadas en 1097 géneros y 300 familias, de las cuales 585 especies son de la clase Pelecypoda, 1222 especies de Gastropoda y 32 especies de Polyplacophora (Avilés,1991; ANAM,1998).

Durante varios años la costa Pacífica veraguense ha sido objeto de estudios como el realizado por Strong & Hertlein (1939), quienes fueron los primeros en presentar un informe sobre los moluscos de Bahía Honda, Veraguas, logrando determinar 236 especies de moluscos (58 Pelecypoda).

Hertlein & Strong (1946-1950) publican la Part IV- IX: Mollusks from the West Coast of Mexico and Centroamerica. En este trabajo se realizaron recolectas en distintos puntos de la costa Pacífica de Panamá, entre los cuales tenemos el Golfo de Panamá, Golfo de Chiriquí, la costa de Veraguas, donde sólo recolectaron 25 especies de Pelecypoda.

Rosten (1955), comunica la lista del material preservado de la familia Arcidae, de la cual se obtuvo un total de 25 especies. De éstas sólo 7 especies fueron recolectadas en las costas de Veraguas.

R.González (1983), recorrió algunas playas del Distrito de Las Palmas en la Provincia de Veraguas recolectando un total de 49 familias con 98 especies (de conchas y caracoles), de las cuales 16 familias con 35 especies pertenecen a la clase Pelecypoda. En ese mismo año, Avilés realiza estudios de los moluscos de la Ensenada Santa Catalina (Distrito de Soná) ubicada en la costa Pacífica de la Provincia de Veraguas, recolectando unas 45 especies de Pelecypoda, agrupadas en 20 familias.

Al siguiente año, Avilés publica la segunda parte del inventario realizado en Santa Catalina, determinando un total de 99 especies (97 gastrópodos y 2 especies de polyplacophora).

Gil & Pérez (1996) estudiaron la fauna malacológica en Isla Leones y Tres Islas, en la cual obtuvieron un total de 159 especies distribuidas así: 24 familias con 58 especies de Pelecypoda y una familia con 4 especies de Polyplacophoros.

San Martín *et al* (1997) realizaron un inventario preliminar en el Parque Nacional Coiba, en el cual sólo reconocieron 35 especies de moluscos (3 especies de bivalvos y una especie de Polyplacophora).

Y. González (en 1999) efectuó un estudio en el Litoral de Restingue, localizado en el Parque Nacional Cerro Hoya, en el

cual inventarió un total de 71 especies de moluscos (11 especies de Pelecypoda).

Los últimos estudios sobre el Pacífico veragüense se realizaron en el Parque Nacional Coiba, comunicándose un total de 206 especies de bivalvos y 12 poliplacóforos (Vega *et al* 1999, 2000).

METODOLOGÍA

El Pacífico veragüense está dominado por dos áreas principales: El Golfo de Montijo, formado por costas bordeadas de manglares, en su parte interna; y playas arenosas y rocosas en la parte externa. La otra área importante la comprende el Parque Nacional Coiba, formado por una extensa área marina y un sinnúmero de islas e islotes, destacando por su tamaño y estado de conservación la isla de Coiba. En el sector de Punta Brava y Santa Catalina la topografía es plana, con playas arenosas y promontorios rocosos. Desde Santa Catalina hasta Bahía Honda las montañas alcanzan la costa y la topografía costera es generalmente quebrada, rocosa y con parches de bosques y pequeñas playas.

Para la realización de este trabajo se hizo únicamente una revisión bibliográfica intensiva, tratando de localizar la mayor cantidad de trabajos relacionados con bivalvos y chitones en el Pacífico veragüense; producto de este esfuerzo se logró recopilar información dispersa sobre el área anteriormente señalada.

Las localidades donde se realizaron los estudios se sitúan a continuación, con el nombre y el o los autores que realizaron los estudios:

Loc. 1 Bahía Honda, Veraguas, Panamá. (Strong & Hertlein, 1939).

Loc. 2. Bahía Honda, Banco Hannibal, Isla Coiba, Golfo de Montijo, Veraguas, Panamá. (Hertlein & Strong, 1946 - 1950).

Loc. 3 Bahía Honda, Isla Medidor, Isla Jicarita, Veraguas, Panamá. (Rost, 1955).

Loc. 4 Playa Muerto, Playa Pajarón, Playa La Caleta, Playa Leones Abajo, Playa La Goya, Bahía Honda, Veraguas, Panamá. (González, 1983).

Loc. 5 Ensenada Santa Catalina, Veraguas, Panamá. (Avilés, 1983).

Loc. 6 Ensenada Santa Catalina, Veraguas, Panamá. (Avilés, 1984).

Loc. 7 Golfo de Montijo, Isla Jicarita, Jicaron, Veraguas, Panamá. (Small, 1994).

Loc. 8 Tres Isla e Isla Leones, Veraguas, Panamá. (Gil & Pérez, 1996).

Loc. 9 Isla Coiba, Veraguas, Panamá. (G. San Martín *et al.* 1997).

Loc. 10 Diferentes puntos de la costa de Veraguas. Recopilación de trabajo de Bayer *et al.* 1970, Almasi, 1991, Hertlein, L. G. & Strong, A.M. (1940-1946) en Avilés 1998.

Loc. 11 Litoral Restingue, Veraguas, Panamá. (González, 1999).

Loc. 12 Isla Jicarón, desde Playa Blanca hasta Playa Hermosa, Isla Coibita, Isla Uvas, Isla Canales Afuera, Isla Contrera, Isla Coco, Isla Granito de Oro, Veraguas, Panamá. (Vega & González 1999; Vega & Cáceres 2000).

Para la actualización de términos taxonómicos se utilizó la revisión realizada al Keen (1971) por Skoglund (1991, 1994) y las realizadas de manera específica a las diferentes familias por Coan (1983 y 1999). Los trabajos recientes de Cruz & Jiménez (1994), Fischer *et al.*, (1995) fueron utilizados para confirmar la

aceptación de la terminología, no así como una fuente a nivel taxonómico.

RESULTADOS

Para la clase Bivalvia comunicamos la existencia de 261 especies y para los Polyplacophora un total de 16 especies. Dichos resultados se plasman a continuación, a través de una lista taxonómica actualizada.

CLASE: BIVALVIA

Nuculidae

Nucula declivis Hinds 1843 Loc. 1

Nuculanidae

Sacella elenensis (Sowerby 1833) Loc. 1

Sacella fastigata Keen 1958 Loc. 10

Adrana crenifera (Sowerby 1833) Loc. 12

Adrana suprema (Pilsbry & Olsson, 1935) Loc. 12

Adrana tonosiana (Pilsbry & Olsson, 1935) Loc. 12

Arcidae

Arca mutabilis (Sowerby 1833) Loc. 1, 3, 5, 12

Arca pacifica (Sowerby 1833) Loc. 1, 3, 4, 12

Barbatia alternata (Sowerby 1833) Loc. 1, 8, 12

Barbatia bailyi (Bartsch 1931) Loc. 3, 8, 12

Barbatia gradata (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 1, 3, 5, 11, 12

Barbatia illota (Sowerby, 1833) Loc. 10

Barbatia reeveana (Orbigny, 1846) Loc. 1, 3, 11, 12

Barbatia rostrae Berry 1954 Loc. 11, 12

Anadara adamsi Olsson 1961 Loc. 10, 12

Anadara biangulata (Sowerby 1833) Loc. 3

Anadara brifons (Carpenter 1857) Loc. 10

Anadara concinna (Sowerby 1833) Loc. 12

Anadara formosa (Sowerby 1833) Loc. 4, 8, 12

Grandiarca grandis (Broderip & Sowerby 1833) Loc. 1, 4, 12

Anadara mazatlanica (Hertlein & Strong 1943) Loc. 12

Anadara nux (Sowerby 1833) Loc. 1, 12

- Anadara perlabiata* (Grant & Gale 1931) Loc. 12
Anadara reinharti (Lowe 1935) Loc. 10, 12
Anadara similis (C.B. Adams 1852) Loc. 11, 12
Anadara tuberculosa (Sowerby 1833) Loc. 1, 4, 5, 7, 12
Anadara labiosa (Sowerby, 1833) Loc. 12
Lunarca brevifrons (Sowerby 1833) Loc. 4, 5, 12.
Arcopsis solida (Sowerby 1833) Loc. 8

Noctidae

- Noetia delgada* (Lowe 1935) Loc. 3
Noetia olssoni Sheldon & Mary 1922 Loc. 8
Noetia reversa (Sowerby 1833) Loc.5

Glycymerididae

- Tucetona canoa* Pilsbry & Olsson 1941 Loc. 10, 12
Tucetona strigilata (Sowerby 1833) Loc. 10, 12
Tucetna multicostata (Sowerby 1833) Loc. 1, 12
Glycymeris gigantea (Reeve 1843) Loc. 10, 12
Glycymeris delesserti (Reeve 1843) Loc. 1, 5
Glycymeris inaequalis (Sowerby 1833) Loc. 1, 4, 5
Glycymeris maculata (Broderip 1832) Loc. 4

Mytilidae

- Brachidontes adamsianus* (Dunker 1857) Loc. 8, 12
Brachidontes puntarenensis (Pilsbry & Lowe 1932) Loc. 12
Brachidontes semilaevis (Menke 1849) Loc. 4, 12
Mytella arciformis (Dall 1909) Loc. 12
Mytella guyanensis (Lamarck 1819) Loc. 8, 12
Mytella strigata (Hanley 1843) Loc. 12
Modiolux capax (Conrad 1837) Loc. 10
Modiolux eiseni Strong & Hertlein 1937 Loc. 10
Crenella divaricata (Orbigny 1847) Loc. 10
Crenella coarctata (Carpenter 1857) Loc. 8, 12
Crenella chemi (Recluz 1842) Loc. 10
Lithophaga plumula (Hanley 1857) Loc. 8,12
Lithophaga aristata (Dillwyn 1817) Loc. 1, 12
Lithophaga calyculata (Carpenter 1857) Loc. 17

Pinnidae

- Atrina maura* (Sowerby 1835) Loc. 8, 12
Atrina tuberculosa (Sowerby 1835) Loc. 1, 5, 8, 12
Pinna rugosa Sowerby 1835 Loc. 9, 12

Isognomonidae

- Isognomon recognitus* (Mabille 1895) Loc. 5, 8, 12

Pteriidae

- Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) Loc. 1, 5, 8, 9, 11, 12

Ostreidae

- Ostreola conchaphila* (Carpenter, 1857) Loc. 4, 11
Undulostrea megodon (Hanley 1846) Loc. 12
Striostrea prismatica (Gray 1825) Loc. 1, 5, 8, 12
Saccostrea palmula (Carpenter 1857) Loc. 4, 8, 12
Crassostrea columbiensis (Hanley 1846) Loc. 8, 12

Gryphacidae

- Hyotissa hyotis* Linnaeus 1758 Loc. 9, 12

Plicatulidae

- Plicatula spondyloopsis* Rochebrune 1895 Loc. 1

Pectinidae

- Oppenheimerpecten perulus* (Olsson 1961) Loc. 12
Oppenheimerpecten vogdesi (Arnold 1906) Loc. 1
Argopecten circularis (Sowerby 1835) Loc. 1, 12
Lectopecten biolleyi (Hertlein & Strong 1946) Loc. 12
Lectopecten velero (Hertlein & Strong 1946) Loc. 1
Nodipecten submudosus (Sowerby 1835) Loc. 4, 5, 12

Spondylidae

- Spondylus calcifer* Carpenter 1857 Loc. 4, 12
Spondylus princeps princeps Broderip, 1833 Loc. 12

Limidae

- Lima tetrica* Gould 1851 Loc. 12

- Lima orbigny* (Lamy 1930) Loc. 8
Limaria pacifica (Orbigny, 1846) Loc. 1, 4

Placunidae

- Placunanomia cumingii* Broderip 1832 Loc. 12
Placunanomia panamensis Olsson, 1942 Loc. 12

Crassatellidae

- Eucrassatella gibbosa* Sowerby 1832 Loc.5, 12
Crasinella adamsi Olsson 1961 Loc.11
Crasinella pacifica (C. B. Adams 18521) Loc.1

Carditiidae

- Carditamera affinis* Sowerby 1833 Loc. 4, 5, 8, 11, 12
Carditamera radiata (Sowerby 1833) Loc. 4, 5, 7
Cardites laticostata (Sowerby 1833) Loc.4, 5, 8, 12
Strophocardia megastropa (Gray 1825) Loc. 5, 12

Corbiculidae

- Polymesoda inflata* (Philippi 1851) Loc.12

Lucinidae

- Parvilucina approximata* (Dall 1901) Loc. 12
Linga cancellaris (Philippi 1846) Loc. 1, 12
Codakia distinguenda (Tryon 1872) Loc. 12
Ctena chiquita (Dall 1901) Loc. 12
Ctena mexicana (Dall 1901) Loc. 12
Ctena galapagana (Dall 1901) Loc. 12
Ctena clippertonensis Bartsch & Rehder, 1939 Loc.2
Divalinga perparvula (Dall 1901) Loc.12

Ungulinidae

- Diplodonta subquadrata* (Carpenter 1856) Loc. 1
Diplodonta suprema Olsson 1961 Loc.8, 12
Fellaniella cornea (Reeve 1850) Loc. 12
Phyctiderma coelatum (Reeve 1850) Loc. 12

Kellidae

Kellia suborbicularis (Montagu 1803) Loc. 8, 12

Sportellidae

Fabella stearnsei (Dall 1899) Loc. 12

Chamidae

Chama budiana C.B. Adams 1852 Loc. 12

Chama echinata Broderip 1835 Loc. 5, 11, 12

Arcinella californica (Dall, 1903) Loc. 2

Pseudochama corrugata (Broderip 1835) Loc. 1, 4, 12

Cardiidae

Trachycardium consors (Sowerby 1833) Loc. 1, 2, 4, 5, 12

Acrostigma pristipleura (Dall 1901) Loc. 4, 12

Trachycardium senticosum (Sowerby 1833) Loc. 4, 5, 8, 12

Trachycardium procerum (Sowerby 1833) Loc. 1, 2, 4, 8, 12

Trachycardium panamensis (Sowerby 1833) Loc. 8

Trachycardium belcheri (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 12

Papyridea aspersa (Sowerby 1833) Loc. 2, 12

Trigoniocardia granifera (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 1, 2, 12

Trachycardium biangulata (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 1, 12

Trachycardium guanacastensis (Hertlein & Strong 1947) Loc. 4, 5, 12

Trachycardium obovalis (Sowerby 1833) Loc. 5, 12

Laevicardium elenenses (Sowerby 1841) Loc. 1, 2, 12

Veneridae

Periglypta multicostata (Sowerby, 1835) Loc. 5, 12

Globivenus isocardia (Verrill 1870) Loc. 2, 12

Tivela argentina (Sowerby, 1835) Loc. 8, 12

Tivela planulata (Broderip & Sowerby 1830) Loc. 12

Tivela byronensis (Gray 1838) Loc. 4, 12

Transennella modesta (Sowerby, 1835) Loc. 12

Transennella puella (Carpenter, 1864) Loc. 12

Pitar hertleini Olsson 1961 Loc. 12

Pitar multispinosus (Sowerby 1851) Loc. 12

- Pitar roseus* (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 5, 12
Pitar pollicaris (Carpenter 1864) Loc. 1
Pitar alternatus (Sowerby, 1835) Loc. 5, 12
Pitar callicomatus (Dall 1902) Loc. 4, 12
Pitar tortuosus (Broderip 1835) Loc. 5, 8, 12
Pitar unicolor (Sowerby, 1835) Loc. 12
Pitar helenae Olsson 1961 Loc. 5, 12
Pitar vinaceus (Olsson 1961) Loc. 12
Pitar catharius (Dall 1902) Loc. 12
Megapitaria aurantiaca (Sowerby 1831) Loc. 1, 4, 5, 12
Megapitaria squalida (Sowerby 1835) Loc. 1, 2, 12
Dosinia dunkeri (Philippi 1844) Loc. 1, 2, 4, 8, 12
Dosinia ponderosa (Schumacher 1817) Loc. 12
Dosinia semiohliterata Deshayes 1853 Loc. 12
Cyclinella producta (Carpenter, 1856) Loc. 12
Cyclinella singleyi Dall 1902 Loc. 12
Cyclinella saccata (Gould 1851) Loc. 12
Cyclinella subquadrata (Hanley 1845) Loc. 1, 2
Chione compta (Broderip 1835) Loc. 1
Chione subimbricata (Sowerby, 1835) Loc. 4, 5, 12
Chione undatella (Sowerby, 1835) Loc. 12
Chione subrugosa (Wood 1828) Loc. 1, 2, 4, 5, 12
Chione kelletii (Hinds 1845) Loc. 2, 12
Chionopsis amathusia (Philippi 1844) Loc. 12
Chionopsis gnida (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 12
Chionopsis ornatisima (Broderip 1835) Loc. 12
Protothaca beili (Olsson 1961) Loc. 12
Protothaca ecuadoriana (Olsson 1961) Loc. 8, 12
Protothaca asperrima (Sowerby, 1835) Loc. 4, 5, 12
Protothaca grata (Say 1831) Loc. 8, 12
Protothaca metodon (Pilsbry & Lowe 1932) Loc. 2, 8
Protothaca columbensis (Sowerby 1835) Loc. 5

Petricolidae

- Rupellaria typica* (Jonas 1844) Loc. 2, 8
Rupellaria denticulata (Sowerby 1834) Loc. 1, 12

Mactridae

- Mactra fonsecana* Hertlein & Strong 1950 Loc. 8, 12
Mactra vanatta Pilsbry & Lowe 1932 Loc. 12
Mactra thraoioides (Adams & Reeve 1850) Loc. 8
Mactrellona exoleta (Gray 1837) Loc. 1
Mactrellona subalata (Mörch 1860) Loc. 12
Mulinia pallida (Broderip & Sowerby 1829) Loc. 4, 12

Tellinidae

- Tellina felix* Hanley 1844 Loc. 12
Tellina meropsis Dall 1900 Loc. 1, 12
Tellina decumbens Carpenter 1865 Loc. 8, 12
Tellina ecuadoriana Pilsbry & Olsson 1941 Loc. 8, 12
Tellina herlteini (Olsson 1961) Loc. 12
Tellina inaequistriata Donovan, 1802. Loc. 12
Tellina mantaensis Pilsbry & Olsson 1943 Loc. 5, 12
Tellina brevisrostris Deshayes 1855 Loc. 12
Tellina cristallina Spengler 1798 Loc. 12
Tellina varilinieata Pilsbry & Olsson 1943 Loc. 12
Tellina simulans C.B. Adams 1852 Loc. 12
Tellina virgo Hanley 1844 Loc. 12
Tellina eburnea Hanley 1844 Loc. 5, 12
Tellina cumingii Hanley 1844 Loc. 1, 12
Tellina purpurea Broderip & Sowerby 1829 Loc. 12
Tellina pristiphora Dall 1900 Loc. 12
Tellina ochracea Carpenter 1864 Loc. 12
Tellina straminea Deshayes 1855 Loc. 8
Tellina subtrigona Sowerby in Reeve 1866 Loc. 2, 8
Tellina hiberna Hanley 1844 Loc. 1
Tellina ulloana Hertlein 1968 Loc. 1
Tellina reclusa Dall 1900 Loc. 1.1, 1.2
Tellina prora Hanley, 1844 Loc. 2
Leporimetis dombei (Hanley 1844) Loc. 12
Macoma grandis (Hanley 1844) Loc. 12
Macoma siliqua siliqua Loc. 12
Cymatoica undulata (Hanley 1844) Loc. 1
Psammotreta viridotincta (Carpenter 1856) Loc. 12
Psammotreta pura (Gould 1853) Loc. 12

- Strigilla dichotoma* (Philippi 1846) Loc. 5, 12
Strigilla disjuncta (Carpenter 1856) Loc. 8, 12
Strigilla chroma Salisbury 1934 Loc. 12
Strigilla serrata (Mörch 1860) Loc. 12
Strigilla ervilia (Philippi 1846) Loc. 12
Tellidora burneti (Broderip & Sowerby 1829) 1.12

Donacidae

- Donax dentifer* Hanley 1843 Loc. 4, 5, 8, 12
Donax gracilis Hanley 1845 Loc. 8, 12
Donax navicula Hanley 1845 Loc. 5, 12
Donax panamensis Philippi 1849 Loc. 11, 12
Donax mancorensis Olsson 1961 Loc. 1.12
Donax asper Hanley, 1845 Loc. 2
Iphigenia altior (Sowerby 1833) Loc. 4, 5, 12

Psammobiidae

- Gari helenae* Olsson 1961 Loc. 12
Gari panamensis Olsson 1961 Loc. 12
Sanguinolaria tellinoides A. Adams 1850 Loc. 4, 5, 12
Sanguinolaria bertini Pilsbry & Lowe 1932 Loc. 12
Tagelus affinis (C.B. Adams 1852) Loc. 12
Tagelus bourgeoisiae Hertlein 1951 Loc. 8, 12
Tagelus peruanus (Dunker 1862) Loc. 12
Tagelus peruvianus Pilsbry & Olsson 1971 Loc. 8, 12
Tagelus politus (Carpenter 1857) Loc. 5, 12
Tagelus violascens (Carpenter, 1857) Loc. 1

Semelidae

- Semele bicolor* (C.B. Adams 1852) Loc. 12
Semele formosa (Sowerby 1833) Loc. 12
Semele purpurascens (Gmelin 1791) Loc. 1, 12
Semele lenticularis (Sowerby 1833) Loc. 5, 12
Semele jovis (Reeve, 1853, ex A. Adams MS) Loc. 12
Semele elliptica (Sowerby 1833) Loc. 5, 8, 12
Semele pulchra (Sowerby 1833) Loc. 8
Semele quentinensis Dall 1921 Loc. 8
Semele verrucosa Mörch, 1860 Loc. 2

- Cumingia lamellosa* Sowerby 1833 Loc. 8,12
Cumingia adamsi Olsson 1961, ex Carpenter MS Loc. 12

Solenidae

- Solen obliquatus rudis* (C.B. Adams 1852) Loc. 5, 8
Solen pazensis Lowe 1935 Loc.8

Myidae

- Sphenia luticola* (Valenciennes 1846) Loc. 1, 12

Corbulidae

- Corbula ovulata* Sowerby 1833 Loc. 1, 2, 5, 12
Corbula ventricosa Adams & Reeve 1850 Loc. 8, 12
Corbula biradiata Sowerby 1833 Loc. 1, 5, 12
Corbula bicarinata Sowerby 1833 Loc. 8
Corbula inflata (C.B. Adams 1852) Loc. 4, 8, 12
Corbula nasuta Sowerby 1833 Loc. 1, 2, 12
Corbula tenuis Sowerby 1833 Loc. 2, 12
Corbula tumaca (Olsson 1961) Loc. 12
Corbula obesa Reeve, 1844 in Strong & Hertlein, 1950 Loc. 2

Gastrochaenidae

- Gastrochaena ovata* Sowerby 1834 Loc. 1, 8, 12

Hiatellidae

- Hiatella solida* (Sowerby 1834) Loc. 12

Pholadidae

- Cyrtopleura crucigera* (Sowerby 1834) Loc. 8, 12
Martesia striata (Linnaeus 1758) Loc. 8, 12
Pholadidea esmeraldensis (Olsson 1961) Loc. 12
Pholas chiloensis Molina 1782 Loc. 8
Diplothyra curta (Sowerby, 1834) Loc. 2

Periplomatidae

- Periploma carpenteri* Dall 1896 Loc. 12
Periploma discus Stearns 1890 Loc. 12
Periploma lagartillum Olsson 1961 Loc. 12

- Periploma lenticularis* Sowerby 1834 Loc. 12
Periploma planiscidum Sowerby 1834 Loc. 12
Periploma teevani Strong & Hertlein 1946 Loc. 12

Thraciidae

- Thracia squamosa* Carpenter 1856 Loc. 12
Thracia anconansis Olsson 1961 Loc. 12
Asthenothaerus colpoica (Dall 1915) Loc. 12
Bushia panamenis (Dall, 1890) Loc. 12
Cyathodonta dubiosa Dall 1915 Loc. 12
Cyathodonta lucasana Dall 1915 Loc. 12
Cyathodonta undulata Conrad 1849 Loc. 1, 12
Cuspidariidae
Cardiomya costata (Sowerby 1834) Loc. 1

CLASE: POLYPLACOPHORA

Chitonidae

- Chiton virgulatus* Sowerby 1840 Loc. 9, 12
Chiton stokesi Broderip 1832 Loc. 5

Acantochitonidae

- Acanthochitona rhodea* Donovan, 1802 Loc. 12
Acanthochitona hirudiniformis (Sowerby 1832) Loc. 12

Ischnochitonidae

- Radiella rugulata* (Sowerby, 1832) Loc. 12
Radiella tridentata Pilsbry, 1893 Loc. 12
Radiella dispar (Sowerby, 1832) Loc. 5, 12
Radiella...Thorpe Loc. 12
Radiella cf. petaloides (Gould, 1846) Loc. 12
Radiella tenuisculpta (Carpenter, 1864) Loc. 8
Radiella sp. Loc. 12
Chaetopleura lurida (Sowerby, 1832) Loc. 12
Chaetopleura...Thorpe Loc. 8
Chaetopleura cf. mixta (Dall, 1919) Loc. 8
Callistochiton pulchellus (Gray, 1828) Loc. 8, 12

Mopaliidae

Ceratozona angusta Thiele, 1909 Loc. 12

CONCLUSIONES

La costa pacífica veraguense cuenta con dos áreas protegidas importantes: El Golfo de Montijo (Sitio Ransar) y el Parque Nacional Coiba. Dentro de estas áreas se encuentran importantes ecosistemas (manglares, estuarios, arrecifes de coral, zonas rocosas, playas arenosas con diferente color y estructura), los cuales sostienen importantes poblaciones de moluscos. A pesar de esto, la información sobre la fauna y flora de estos lugares es muy limitada y poco accesible. Producto de nuestro trabajo, se pone a disposición de la comunidad científica una recopilación de especies de moluscos bivalvos y chitones que, de otra manera, el interesado tendría que revisar la literatura original para tener acceso a ella.

De las 277 especies documentadas hasta el momento, 218 están presentes en el Parque Nacional Coiba, convirtiéndose en uno de los sitios mejor estudiados para el Pacífico de Veraguas, en lo que a moluscos se refiere. En el caso específico de los bivalvos, 261 especies representan el 46 % del total de especies comunicadas por Avilés (1991) para el Pacífico panameño.

Posterior a este trabajo, debe ser publicada la segunda parte que incluye sólo los gasterópodos, completando con esto un importante aporte al conocimiento de la fauna malacológica del Pacífico veraguense.

ABSTRACT

An annotated checklist of marine molluscs from Pacific veraguense, Panama obtained of studies in Coiba National Park and literature revision. The checklist includes 277 species: 261 Bivalvia and 16 Polyplacophora.

REFERENCIAS

- Avilés, M.C. 1983. Moluscos de la Ensenada Santa Catalina, distrito de Soná, Provincia de Veraguas. 1-Bivalvos. *Donax Panamensis*. 35:130-132.
- Avilés, M.C. 1984. Moluscos de la Ensenada Santa Catalina, distrito de Soná, Provincia de Veraguas. 2. Polyplacophora. *Donax Panamensis*. 40:45-48.
- Avilés, M.C. 1991. Lista de bivalvos de Panamá. Sociedad Panameña de Malacología. De Panamá. 76pp.
- Avilés, M.C. 1998. Catálogo de los bivalvos actuales y fósil de la República de Panamá (Solemyidae a Mytillidae). Sociedad Panameña de Malacológica. 128pp.
- ANAM 1998. Primer informe de la riqueza y estado de la biodiversidad de Panamá. 174pp.
- Coan, E. 1983. The Eastern Pacific Donacidae. The Veliger. 25 (4): 273-298.
- Coan, E. 1999. The Eastern Pacific Sportellidae (Bivalvia). The Veliger. 42(2):132-151.
- Cruz, R.A. & A. J. Jiménez. 1994. Moluscos asociados a las áreas de manglar de la Costa Pacífica de América Central. Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica: 184 pp.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Summer, K. E. Carpenter & V. H. Niem. 1995. Guía para la Investigación de Especies para los fines de la Pesca. Pacífico Centro Oriental. Plantas e Invertebrados. Vol. 1 (1): 99-222; 299-304.
- Gil, A. A. & F. J. Pérez. 1996. Inventario malacológico (Clases: Bivalvia, Gastropoda, Polyplacophora) en Isla Leones y Tres Islas, distrito de Montijo, Provincia de Veraguas, Panamá. Tesis de Licenciatura. Universidad de Panamá. 74 pp.

González, G. R. 1983. Informe de las especies de moluscos colectados durante la gira de Barco Salud N° 7 a la costa Pacifica de Veraguas. Donax Panamensis. 29:66-72.

González M., Y. 1999. Inventario de las clases Gastropoda y Pelecypoda en el litoral Restingue. Parque Nacional Cerro Hoya. Montijo, Veraguas. Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá. 31 pp.

Hertlein, L.G. & A. M. Strong. 1946. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. XXXV. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part IV. In: Zoologica Scientific Contributions of the New York Zoological Society, Vol. 31: 93-121.

Hertlein, L.G. & A.M. Strong. 1947. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. XXXVI. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part V. In: Zoologica Scientific Contributions of the New York Zoological Society. Vol. 31: 129-151.

Hertlein, L.G. & A.M. Strong. 1948. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. XXXIX. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part VI. In: Zoologica Scientific Contributions of the New York Zoological Society, Vol. 33:163-200.

Hertlein, L.G. & A.M. Strong. 1949a. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. XL. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part VII. In: Zoologica Scientific Contributions of the New York Zoological Society, Vol. 34: 63-97.

Hertlein, L.G. & Strong, A.M. 1949b. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society XLI. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part VIII. In: Zoologica Sscientific Contributions of the New York Zoological Society, Vol. 34:240-259.

Hertlein, L.G. & A.M. Strong. 1950. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society XLI. Mollusks from the West Coast of Mexico and Central America Part IX. In: *Zoologica* Scientific Contributions of the New York Zoological Society, Vol. 35: 217-253.

Keen, A.M. 1971. Sea shells of tropical West America. Marine Mollusks From Baja California to Perú. Second Edition. California: Stanford University Press: 1064 pp.

Rost, H. 1955. A report on the family Arcidae (Pelecypoda). *Allan Hancock Pacific Expeditions* Vol.20(2):177-249.

San Martín, G; López, E., Redondo M., Capa, M. Cladera, P. & A Laborda. 1997. El bentos marino del Parque Nacional Coiba. En flora y fauna del Parque Nacional Coiba (Panamá) Inventario Preliminar. Eds: S. Castroviejo. p.33-55

Skoglung, C. 1991. Additions to the Panamic Province Bivalve (Mollusca) literature 1971 to 1990. *The Festivus* Vol. XXII (supplement 2) 74 pp.

Skoglung, C. 1992. Additions to the Panamic Province Gastropod (Mollusca) literature 1971 to 1992. *The Festivus* Vol. XXIV (supplement) 169pp.

Small, M. 1994. Marine gastropod habitats of western Panama. *The Festivus* Vol.XXVI (10):107-122.

Strong, A.M. & L.G. Hertlein. 1939. Marine mollusks from Panama collect by Allan Hancock Expedition to the Galapago Islands, 1931-1932. En: *Allan Hancock Pacific* Vol. 2 (12), p.177-184. California: The University of Southern California Press.

Vega, A.J., A. González, & F. Pérez. 1999. Moluscos bivalvos del Parque Nacional Coiba. Informe de Investigación.

Vicerrectoría de Investigación y Posgrado, Universidad de Panamá. 61 pág.

Vega, A.J., M. Cáceres & F. Pérez. 2000. Moluscos polioplacóforos del Parque Nacional Coiba. Informe de investigación. Vicerrectoría de Investigación y Posgrado, Universidad de Panamá. 31 Pág.

Recibido junio del 2001, aceptado septiembre del 2001.



PRIMER REGISTRO DE LA FAMILIA EMBOLEMIDAE (HYMENOPTERA: CHRYSIDOIDEA) PARA PANAMÁ

Roberto A. Cambra T.

Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Universidad de Panamá,
Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Estafeta Universitaria, Panamá, República de Panamá.
e-mail: rcambra@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

La familia de avispas parasitoides Embolemidae (Insecta: Hymenoptera) se registra por primera vez en Panamá, con las siguientes dos especies: *Embolemus subtilis* Olmi, 1996 y *Embolemus neotropicus* Olmi, 1996. Ambas especies eran conocidas sólo para América del Sur.

PALABRAS CLAVES

Embolemidae, *Embolemus subtilis*, *E. neotropicus*, nuevos registros, Panamá.

INTRODUCCIÓN

La familia Embolemidae son avispas parasitoides con amplia distribución mundial. Miden de 2 a 4 mm de largo corporal cuya biología es poco conocida. Los machos son alados y las hembras pueden ser aladas, micropteras o ápteras. Se sabe que parasitan ninfas de Homoptera de la familia Achilidae. Amarante *et al.* (1999) presentan un resumen de los hospederos conocidos para la Embolemidae. La Embolemidae incluye solamente dos géneros: *Ampulicomorpha* Ashmead, con 13 especies y *Embolemus* Westwood, con 19 especies. Olmi (1997) presenta una clave para las especies de Embolemidae del mundo.

Las siguientes nueve especies de *Embolemus* son conocidas de la región Neotropical: *nearcticus* (Brues, 1922) desde Canadá hasta Colombia (aún sin registros para Panamá); *andersoni* Olmi, 1998 de Guatemala; *stangei* Olmi, 1996 de Honduras; *neotropicus* Olmi, 1996 de Ecuador; *subtilis* Olmi, 1996 de Perú, Brasil y Bolivia; *horaceia* Amarante-Brandao-Carpenter, 1999 de Brasil; *oglobini* Olmi, 1998 de Paraguay y Argentina; *bestelmeyeri* Olmi, 1998 de Argentina; y *angustipennis* (Kieffer, 1912) de Chile, Argentina y Bahamas. Gauld (1995) menciona la presencia de tres morfoespecies de *Embolemus* en Costa Rica, colectadas en localidades boscosas desde el nivel del mar hasta los 2800 metros. Portuondo (1996) menciona la presencia de *Embolemus* sp. en Cuba, un macho y una hembra, colectados en La Gran Piedra, a 1100m de altura.

LOS REGISTROS

Embolemus subtilis Olmi, 1996

(Figs. 1, 2)

Material examinado: PANAMÁ: Provincia Darién, Parque Nacional Darién, Serranía del Pirre, Estación Rancho Frío, 230 msnm, 21 mar – 4 abr 2000, Cambra, Santos & Bermúdez, 1 macho; mismos datos pero a 580 msnm, 1 macho. Provincia Panamá, Cerro Azul, Las Nubes, 9-15 oct 1999, R. Cambra, A. Santos, 1 macho. Provincias Chiriquí-Bocas del Toro, Fortuna División Continental, 8-12 abril 1999, 1100msnm, R. Cambra, A. Santos, 6 machos. Todos depositados en la colección del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP).

Comentarios: Primer registro de la Familia y de la especie para Panamá. Esta especie era previamente conocida de Perú, Brasil y Bolivia (Amarante *et al.* 1999). Todos los especímenes fueron colectados con trampas Malaise, en bosques húmedos a alturas entre 230 y 1100 msnm. La hembra de *E. subtilis* no es conocida (Olmi 1996), pero debe ser micróptera o braquíptera, como las demás hembras conocidas de éste género (Amarante *et al.* 1999).

Embolemus neotropicus Olmi, 1996

(Fig. 2)

Material examinado: PANAMÁ: Bocas del Toro-Chiriquí, Fortuna, División Continental, 1100msnm, 8-12 abr 1999, R. Cambra, A. Santos, 1 macho (MIUP).

Comentarios: Primer registro de la especie para Panamá. Esta especie era previamente conocida de Ecuador. El espécimen fue capturado con platos amarillos llenos con detergente líquido disuelto en agua. La hembra de *E. neotropicus* no es conocida.

Por la distribución de *Embolemus nearcticus* (Brues), desde Canadá hasta Colombia, considero que una tercera especie de Embolemidae podría estar presente en Panamá.

ABSTRACT

The Embolemidae and the following two species of this family are recorded for the first time in Panama: *Embolemus subtilis* Olmi, 1996 and *Embolemus neotropicus* Olmi, 1996; both species previously were known only from South America.

REFERENCIAS

Amarante, S.; R. F. Brandao & J. Carpenter. 1999. A new species of *Embolemus* Westwood from the Mata Atlântica of Brazil. *American Museum Novitates*, 3266: 1-7.

Gauld, I. D. 1995. Embolemidae, pp. 490-492. *En:* Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds.) *The Hymenoptera of Costa Rica*. 893 pp. Oxford University Press.

Olmi, M. 1996 (1995). A revision of the world Embolemidae (Hymenoptera Chrysidoidea). *Frustula Entomol.*, (n. ser.) 18 (31): 85-146.

Olmi, M. 1997. A contribution to the knowledge of the Embolemidae and Dryinidae (Hymenoptera Chrysidoidea). *Bolletino di Zoologia agraria e di Bachicoltura*, 29(2):125-150.

Portuondo, E. 1996. Adiciones nuevas a la himenoptero fauna cubana (Ceraphronidae, Megaspilidae, Sclerogibbidae, Embolemidae). *Cocuyo*, 5: 11-12

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Massimo Olmi, Università della Tuscia, Italia, por la identificación de los especímenes de *Embolemus*. A Alfonso Sanabria y Julio Rodríguez, Proyecto BioDarién, por proveer parte de los fondos para las giras al Parque Nacional Darién. A Elvia de Los Ríos y Eduardo Flores, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, por haber apoyado con viáticos parte del costo de las giras a Fortuna y al Parque Nacional Darién, respectivamente. A Ricardo Rivera, Indra Candanedo y Laura Fernández, Dirección Nacional de Patrimonio Natural, ANAM, por la ayuda en la tramitación de los permisos de colecta y alojamiento en Darién. A Alonso Santos M. (MIUP), por la ayuda en las colectas de campo. A Narciso Bristán "Chicho," Luis Pizarro, Antonio Henrris, Aristides Tucama, Luis Pacheco y Leonardo Bustamante, personal de ANAM que labora en El Real y la Estación Rancho Frio, por la asistencia brindada durante el trabajo de campo. Agradezco a Diomedes Quintero A. y Angel Aguirre, Smithsonian Tropical Research Institute, por la ayuda en localizar las referencias bibliográficas. El trabajo de campo en el Parque Nacional Darién fue apoyado en parte por fondos de BioDarién (PAN/94/G31) y fondo No.04-05-94-01 de la Universidad de Panamá.

Recibido septiembre del 2001, aceptado septiembre del 2001.

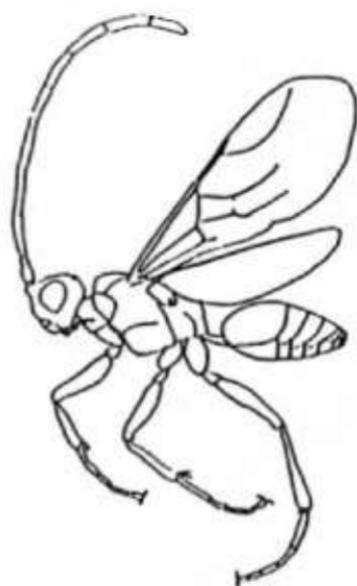


Fig. 1. Habitus de *Embolemus subtilis* Olmi, macho (Fortuna División Continental).

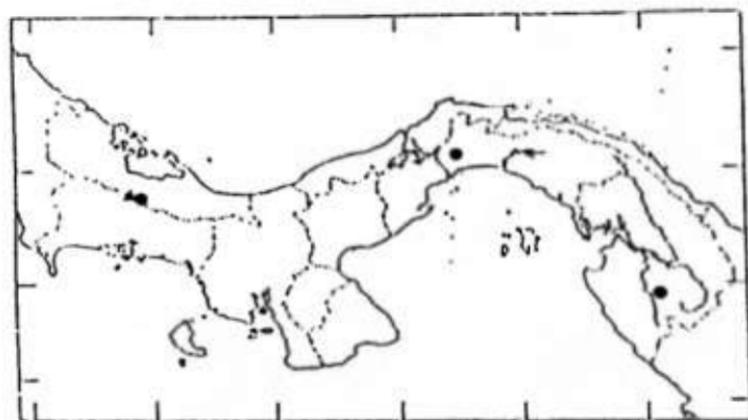


Fig. 2. Distribución de las especies de Embolemidae en Panamá. *Embolemus subtilis* (círculo), *Embolemus neotropicus* (triángulo).



PRIMER REGISTRO DE LA FAMILIA EMBOLEMIDAE (HYMENOPTERA: CHRYSIDOIDEA) PARA PANAMÁ

Roberto A. Cambra T.

Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Universidad de Panamá,
Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Estafeta Universitaria, Panamá, República de Panamá.
e-mail: rcambra@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

La familia de avispas parasitoides Embolemidae (Insecta: Hymenoptera) se registra por primera vez en Panamá, con las siguientes dos especies: *Embolemus subtilis* Olmi, 1996 y *Embolemus neotropicus* Olmi, 1996. Ambas especies eran conocidas sólo para América del Sur.

PALABRAS CLAVES

Embolemidae, *Embolemus subtilis*, *E. neotropicus*, nuevos registros, Panamá.

INTRODUCCIÓN

La familia Embolemidae son avispas parasitoides con amplia distribución mundial. Miden de 2 a 4 mm de largo corporal cuya biología es poco conocida. Los machos son alados y las hembras pueden ser aladas, micropteras o ápteras. Se sabe que parasitan ninfas de Homoptera de la familia Achilidae. Amarante *et al.* (1999) presentan un resumen de los hospederos conocidos para la Embolemidae. La Embolemidae incluye solamente dos géneros: *Ampulicomorpha* Ashmead, con 13 especies y *Embolemus* Westwood, con 19 especies. Olmi (1997) presenta una clave para las especies de Embolemidae del mundo.

Las siguientes nueve especies de *Embolemus* son conocidas de la región Neotropical: *nearcticus* (Brues, 1922) desde Canadá hasta Colombia (aún sin registros para Panamá); *andersoni* Olmi, 1998 de Guatemala; *stangei* Olmi, 1996 de Honduras; *neotropicus* Olmi, 1996 de Ecuador; *subtilis* Olmi, 1996 de Perú, Brasil y Bolivia; *horaceia* Amarante-Brandao-Carpenter, 1999 de Brasil; *oglobini* Olmi, 1998 de Paraguay y Argentina; *bestelmeyeri* Olmi, 1998 de Argentina; y *angustipennis* (Kieffer, 1912) de Chile, Argentina y Bahamas. Gauld (1995) menciona la presencia de tres morfoespecies de *Embolemus* en Costa Rica, colectadas en localidades boscosas desde el nivel del mar hasta los 2800 metros. Portuondo (1996) menciona la presencia de *Embolemus* sp. en Cuba, un macho y una hembra, colectados en La Gran Piedra, a 1100m de altura.

LOS REGISTROS

Embolemus subtilis Olmi, 1996

(Figs. 1, 2)

Material examinado: PANAMÁ: Provincia Darién, Parque Nacional Darién, Serranía del Pirre, Estación Rancho Frío, 230 msnm, 21 mar – 4 abr 2000, Cambra, Santos & Bermúdez, 1 macho; mismos datos pero a 580 msnm, 1 macho. Provincia Panamá, Cerro Azul, Las Nubes, 9-15 oct 1999, R. Cambra, A. Santos, 1 macho. Provincias Chiriquí-Bocas del Toro, Fortuna División Continental, 8-12 abril 1999, 1100msnm, R. Cambra, A. Santos, 6 machos. Todos depositados en la colección del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP).

Comentarios: Primer registro de la Familia y de la especie para Panamá. Esta especie era previamente conocida de Perú, Brasil y Bolivia (Amarante *et al.* 1999). Todos los especímenes fueron colectados con trampas Malaise, en bosques húmedos a alturas entre 230 y 1100 msnm. La hembra de *E. subtilis* no es conocida (Olmi 1996), pero debe ser micróptera o braquíptera, como las demás hembras conocidas de éste género (Amarante *et al.* 1999).

Embolemus neotropicus Olmi, 1996

(Fig. 2)

Material examinado: PANAMÁ: Bocas del Toro-Chiriquí, Fortuna, División Continental, 1100msnm, 8-12 abr 1999, R. Cambra, A. Santos, 1 macho (MIUP).

Comentarios: Primer registro de la especie para Panamá. Esta especie era previamente conocida de Ecuador. El espécimen fue capturado con platos amarillos llenos con detergente líquido disuelto en agua. La hembra de *E. neotropicus* no es conocida.

Por la distribución de *Embolemus nearcticus* (Brues), desde Canadá hasta Colombia, considero que una tercera especie de Embolemidae podría estar presente en Panamá.

ABSTRACT

The Embolemidae and the following two species of this family are recorded for the first time in Panama: *Embolemus subtilis* Olmi, 1996 and *Embolemus neotropicus* Olmi, 1996; both species previously were known only from South America.

REFERENCIAS

Amarante, S.; R. F. Brandao & J. Carpenter. 1999. A new species of *Embolemus* Westwood from the Mata Atlântica of Brazil. *American Museum Novitates*, 3266: 1-7.

Gauld, I. D. 1995. Embolemidae, pp. 490-492. *En:* Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds.) *The Hymenoptera of Costa Rica*. 893 pp. Oxford University Press.

Olmi, M. 1996 (1995). A revision of the world Embolemidae (Hymenoptera Chrysidoidea). *Frustula Entomol.*, (n. ser.) 18 (31): 85-146.

Olmi, M. 1997. A contribution to the knowledge of the Embolemidae and Dryinidae (Hymenoptera Chrysidoidea). *Bolletino di Zoologia agraria e di Bachicoltura*, 29(2):125-150.

Portuondo, E. 1996. Adiciones nuevas a la himenoptero fauna cubana (Ceraphronidae, Megaspilidae, Sclerogibbidae, Embolemidae). *Cocuyo*, 5: 11-12

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Massimo Olmi, Università della Tuscia, Italia, por la identificación de los especímenes de *Embolemus*. A Alfonso Sanabria y Julio Rodríguez, Proyecto BioDarién, por proveer parte de los fondos para las giras al Parque Nacional Darién. A Elvia de Los Ríos y Eduardo Flores, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, por haber apoyado con viáticos parte del costo de las giras a Fortuna y al Parque Nacional Darién, respectivamente. A Ricardo Rivera, Indra Candanedo y Laura Fernández, Dirección Nacional de Patrimonio Natural, ANAM, por la ayuda en la tramitación de los permisos de colecta y alojamiento en Darién. A Alonso Santos M. (MIUP), por la ayuda en las colectas de campo. A Narciso Bristán "Chicho," Luis Pizarro, Antonio Henrris, Aristides Tucama, Luis Pacheco y Leonardo Bustamante, personal de ANAM que labora en El Real y la Estación Rancho Frio, por la asistencia brindada durante el trabajo de campo. Agradezco a Diomedes Quintero A. y Angel Aguirre, Smithsonian Tropical Research Institute, por la ayuda en localizar las referencias bibliográficas. El trabajo de campo en el Parque Nacional Darién fue apoyado en parte por fondos de BioDarién (PAN/94/G31) y fondo No.04-05-94-01 de la Universidad de Panamá.

Recibido septiembre del 2001, aceptado septiembre del 2001.

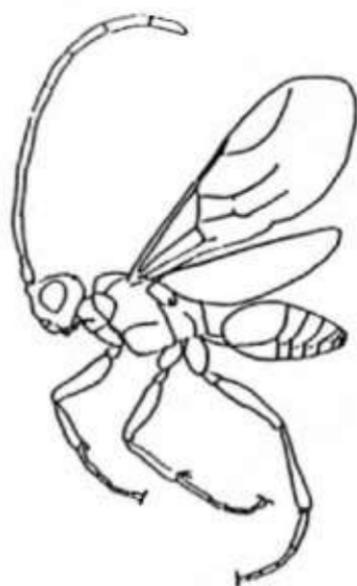


Fig. 1. Habitus de *Embolemus subtilis* Olmi, macho (Fortuna División Continental).

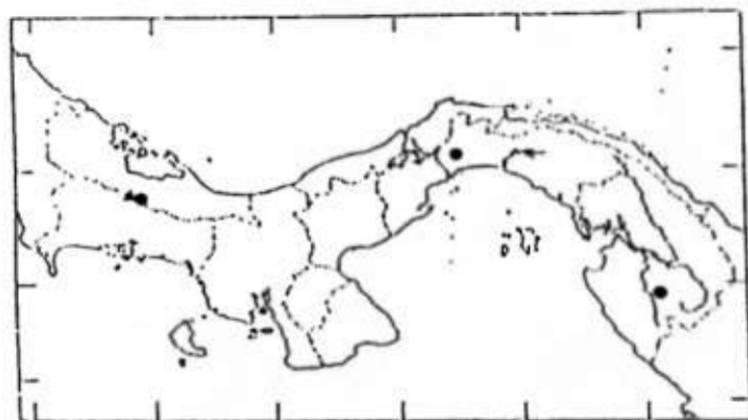


Fig. 2. Distribución de las especies de Embolemidae en Panamá. *Embolemus subtilis* (círculo), *Embolemus neotropicus* (triángulo).

EL ROL DE LA OCEANOGRAFÍA EN EL DISEÑO DEL EMISARIO SUBMARINO PARA LA BAHÍA DE PANAMÁ

Bogdan Kwiecinski, Yina Rodriguez, Victor Rodriguez

Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina.

RESUMEN

Con el fin de actualizar lo que sabemos sobre la problemática del saneamiento de la Bahía de Panamá, se concluyó recientemente en la Universidad de Panamá, una modelación sobre las características del emisario que podría cumplir con el saneamiento de acuerdo con las normas internacionales de salubridad para aguas recreacionales. Este estudio definió, entre otros, el coeficiente de la dilución inicial y el coeficiente de la dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias (T-90) en el mar, permite hacer proyecciones en el tiempo y el espacio en cuanto a la dilución total. Mediante modelos matemáticos adecuados se puede estimar la longitud óptima del emisario necesario para mantener el litoral libre de contaminación bacteriana, de acuerdo con las normas internacionales de salubridad. Para tal fin, se aplicaron los Programas Plumes y Surfer para llegar a la conclusión de recomendar la disposición de las aguas servidas de la ciudad sin ningún tratamiento, excepto la separación de los sólidos, a través de un emisario de 9,000 metros de longitud total.

PALABRAS CLAVES

Contaminación bacteriana, emisario submarino, dilución inicial, dilución física, dilución total, mortandad de bacterias, T-90, Programa Plumes, Programa Surfer.

INTRODUCCIÓN

Casi la mitad de la población del país vive en la Ciudad de Panamá. A comienzos del siglo XXI, la población de la ciudad

sobrepasará el millón de habitantes. La expansión demográfica estará acompañada por el aumento de las descargas de aguas servidas hacia la Bahía de Panamá. Actualmente, las aguas servidas descargan en la bahía a través de 20 acueductos y tres ríos: el Río Matasnillo, Matías Hernández y Juan Díaz, todos sin ningún tratamiento. La carga de aguas servidas que son drenadas a la Bahía se estima cerca de 50 millones de toneladas e introducen cerca de 20.000 toneladas de BOD/año (D' Cruz, 1988).

ANTECEDENTES

Históricamente, la primera atención hacia la contaminación de la Bahía de Panamá fue prestada por la entonces Compañía del Canal de Panamá, efectuándose un estudio muy amplio sobre la materia.

Este estudio, de duración de más de dos años, abarcó la problemática de la contaminación de todo el Sistema Acuático de la entonces Zona el Canal (González et al, 1975).

En 1976 se efectuó un estudio de ingeniería para el IDAAN a través de la Cia. Tecnipan-Hazan and Sawyer, que enfoca básicamente la parte Oriental de la Bahía.

Los resultados de este estudio nos proporcionan las informaciones sobre la contaminación de las aguas y los sedimentos de las áreas, además una cantidad de los datos pertinentes a la oceanografía, decisivos en esta materia, tales como información sobre: estratificación de las aguas, corrientes netas, corrientes de mareas, dispersión física, movimientos de las partículas y la mortandad natural de las bacterias en el mar.

Todo esto en dos versiones, con o sin tratamiento, además con las proyecciones para el cercano futuro, pendiente la realización del proyecto de la decisión administrativa del país (I.D.A.A.N,1977). Y después que pasó?.....pues nada.

Vale la pena mencionar que en adición a la alta concentración de las bacterias, también debe preocupar la acumulación de sedimentos y materia orgánica que llega a la Bahía a través de los alcantarillados y los ríos adyacentes. Este hecho perjudica seriamente los aspectos sanitarios y estéticos de la Bahía, creando un impacto negativo especialmente pronunciado a lo largo de la Avenida Balboa y sus alrededores.

En los años posteriores fueron actualizados los estudios mencionados indicando un significativo aumento de la contaminación bacteriana tanto en la parte Oriental como en la Occidental de la Bahía (D' Croz ,1988).

Se identifica como el área de mayor contaminación la parte del Litoral de la Bahía entre Punta Paitilla y El Casco Viejo, y que los más grandes impactos ambientales negativos en la contaminación de la Bahía son:

1. Alta concentración de bacterias coliformes totales y coliformes fecales en una franja litoral de cerca de una milla de ancho, lo que representa un impacto negativo de la salubridad.
2. Sedimentos y materia orgánica cuya descomposición, causa los malos olores, lo que se evidencia en mareas bajas en la Avenida Balboa, lo que representa tanto impacto negativo, estético como sanitario. Plásticos, chatarras y basuras flotantes, lo que representa el impacto negativo estético, no así de salud (Kwiecinski, 1997).

Para contrarrestar esta contaminación por aguas servidas la Ingeniería Sanitaria dispone de varias opciones que incluyen: Plantas de tratamientos, emisarios submarinos por separados o en conjunto con las plantas de tratamiento. De estas tres opciones, la tendencia en los últimos 20 años en América Latina es casi exclusivamente a favor de los emisarios (previa separación de los sólidos).

El emisario submarino consta de una tubería de plástico, cemento o metal de diámetro cerca de 1m que termina con un difusor o sea un tubo perpendicular al conducto principal. El difusor contiene una cantidad de pequeñas aberturas espaciadas convenientemente lo que hace que las aguas servidas entran al mar como una lamina a lo ancho del tubo difusor.

El diseño del emisario, y ante todo su longitud, depende de varios factores tales como: parámetros de ingeniería, de efluente, de medio ambiente y de coeficientes físicos.

Al disponer de estos datos, se introducen en los modelos matemáticos, que a su vez proporcionan la indicación sobre la concentración de coliformes a distancia escogida desde el punto de descarga, lo que permite hacer proyecciones en el tiempo y espacio en cuanto a la dilución total de los coliformes en el área.

LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN EL DISEÑO DEL EMISARIO SUBMARINO PARA LA CIUDAD DE PANAMÁ

Con el fin de actualizar lo que sabemos sobre la problemática del saneamiento de la Bahía, se concluyó recientemente en la Universidad de Panamá, un estudio sobre las características del emisario que podría cumplir con el saneamiento de acuerdo con las normas internacionales de salubridad.

Este estudio definió, entre otros, el coeficiente de la dilución inicial y el coeficiente de la dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias en el mar, nos permiten hacer proyecciones en el tiempo y espacio en cuanto a la dilución total, mediante la aplicación de modelos matemáticos adecuados. Por ende nos permite estimar la longitud del emisario necesario para mantener el litoral libre de la contaminación bacteriana de acuerdo con las normas internacionales de la salubridad.

La descarga de las aguas residuales en océanos y mares producen cambios en las características ambientales a través de procesos como floculación y sedimentación, oxidación de la materia orgánica, reducción bacteriana y, naturalmente, dilución.

En esta etapa, la dilución tiene dos fases: la llamada dilución inicial que es la mezcla inicial del efluente con el océano a través de mecanismos accionados por diferencias de temperatura y densidad; y la denominada dilución física que es el arrastre lateral de la mezcla de líquido residual y agua oceánica subsiguiente a la dilución inicial.

Estos dos parámetros, nos proporcionan la información sobre el coeficiente de dilución inicial y el coeficiente de dilución física, lo que en conjunto con el conocimiento del coeficiente de la mortandad de bacterias, nos permiten hacer proyecciones en el tiempo y el espacio en cuanto a la dilución total mediante modelos matemáticos adecuados.

Tres fenómenos afectan la dilución inicial: la mezcla causada por el impulso de las aguas servidas al salir del emisario submarino; la fuerza ascendente causada por la diferencia de densidad entre las aguas residuales y las aguas del mar (diferencias en temperatura y salinidad), que hace que el campo de aguas servidas ascienda en la columna de agua extendiéndose en el proceso y, por lo tanto, mezclándose con agua de mar; y, finalmente, el efecto de la corriente, que causa una mezcla lateral de agua de mar renovadora en el campo de las aguas residuales.

En el campo, aguas residuales diluidas, pueden ascender a la superficie, o llegar a un nivel sumergido, dependiendo del grado de estratificación de la columna de agua. Brooks (1983) ha desarrollado un modelo que estima la dilución inicial que se puede lograr en función de los parámetros de profundidad, diámetro y velocidad de salida y diferencias en densidad.

Posteriormente, Roberts, (1987) desarrolló un modelo que permite estimar la dilución inicial para diferentes estructuras de

corriente, con o sin estratificación. El diseño apropiado del difusor del emisario submarino es crítico para alcanzar el nivel deseado de dilución. La longitud, profundidad y orientación así como el área y la separación de los orificios de descarga, son parámetros claves del diseño. Rawn (1961) ha presentado métodos para el diseño de difusores y éstos han sido incorporados en un programa de computadora por Salas (1983).

Dispersión horizontal y transporte son función del régimen de corrientes locales y dispersión turbulenta (mezcla lateral causada por corrientes turbulentas). Brooks, (1960) ha desarrollado un modelo que caracteriza adecuadamente estos procesos para estimar la dilución horizontal y Ludwig (1988) ha confeccionado un modelo simple logarítmico de mortandad bacterial que provee una predicción adecuada de la desaparición de coliformes.

La dilución total obtenida como resultado de los tres procesos descritos, es simplemente el producto de las diluciones individuales. (Salas, 1994).

Estos son para bacterias:

$$D_t = D_i \times D_h \times D_b \qquad C_t = C_o / D_t$$

Donde:

D_t = Dilución total

D_i = Dilución inicial

D_h = Dilución horizontal

D_b = Desaparición de coliformes.

C_o = Concentración inicial de coliformes en las aguas residuales

C_t = Concentración de coliformes después de T horas (en las playas).

Posteriormente, todos esos componentes, incluyendo los parámetros de ingeniería, oceanografía y bacteriología, se introducen al modelo especialmente diseñado para determinar las

concentraciones de los coliformes a diferentes etapas, según el tiempo y espacio.

PARTE EXPERIMENTAL

La presente investigación, consta básicamente de tres etapas:

1. La adquisición de datos pertinentes referentes a distintos parámetros:
 - a. Parámetros de ingeniería: Dentro de este contexto se aplica la profundidad de 20 metros, el flujo de 3 metros cúbicos/seg., número de puertas 285 , diámetro de la puerta 0.085 m y la elevación de la puerta 0.84m.
 - b. Parámetros del efluente: concentración inicial de coliformes totales en el afluente de aguas servidas y la tasa de mortandad de bacterias en el ambiente T-90.

Para los coliformes se aplica el valor de concentración total igual a 100 millones de coliformes por 100 ml, muy cerca de lo reportado para la ciudad de Río de Janeiro (Salas 1994).

Se aplica la misma tasa de mortandad de bacterias reportadas por TECNIPAN-HAZEN AND SAWYER, de ser T-90 =5 horas para aguas de la Bahía de Panamá. (I.D.A.A.N., 1977), más un variante de T-90 = 3 horas.

- c. Parámetros oceanográficos del medio ambiente, tales como: la salinidad, la temperatura, la densidad, la dirección y velocidad de corriente neta y de marea.

En cuanto a los parámetros de oceanografía presentes en la bahía, se reconoce la salinidad 20-30 permiles (temporada de lluvia) y 30-35 permiles (temporada seca), al igual que la temperatura 28 grados centígrados (temporada de lluvia) y 20 grados centígrados (temporada seca), respectivamente.

Se aplican los valores del coeficiente de la dilución física 0.0003 m-e 2/3/seg. y la velocidad de corrientes entre 5 cm/seg. y 15 cm/seg. indicados por TECNIPAN-HAZEN AND SAWYER (I.D.A.A.N., 1977).

2. Determinación de la concentración de coliformes totales en el tiempo y espacio:

Una vez teniendo los datos disponibles, se les introduce en diversas combinaciones en el programa específicamente diseñado para tal fin " ERL-N program PLUMES ", que especifica y detalla la concentración de coliformes. distancias escogidas desde el punto de la descarga, (Fig. 1).

3. Presentación gráfica sobre los mapas de la concentración de coliformes totales en el área:

Esta presentación se lleva a cabo mediante la aplicación del programa " AUTOCAD " y el programa "SURFER ", este último descrito a continuación: El SURFER; es una herramienta para la creación de gráficos de alta resolución en dos y tres dimensiones y el producto puede ser apreciado directamente en la pantalla o impresa.

A través de menús, el SURFER conduce a través de diversas opciones a la creación de mapas de contorno y mapeo de superficies con datos X Y Z, o sea las coordenadas geográficas en conjunto con los valores de la concentración de los coliformes.

Las diversas combinaciones según el rango de parámetros oceanográficos y el rango de T-90, nos proporcionan las respuestas pertinentes sobre la longitud del emisario, que varía desde 3000m (en condiciones ambientales favorables) hasta 9000m (en condiciones ambientales desfavorables), Fig. 2, 3 y 4.

CONCLUSIONES

Se estima que el saneamiento de la Bahía debía ser efectuado básicamente sin ningún tratamiento a través de un emisario submarino, incluyendo separación de los sólidos. Para tal fin, se deben cumplir con los siguientes requerimientos.

1. Que el emisario debería tener longitud entre 7 y 9 mil metros.
2. Que el difusor del emisario debe ser ubicado a profundidad cerca de 20 metros.

ABSTRACT

To actualize our knowledge on the sanitation of the Bay of Panama, the study on that matter has been recently concluded at the University of Panama. The objective of that study was to define the characteristics of the emissary to comply with the international sanitation standards for recreational water. The scope of the study was estimate the coefficient of initial dilution and the physical dilution, which together with the knowledge of the coefficient of bacterial mortality (T-90), in the sea water, could lead to prediction in space and time of the total dilution. Consequently, enable us to estimate the length of the submarine emissary, necessary to maintain the shores of the bay, free of bacterial pollution. The work was completed applying the computer programme, Plumes and Surfer. In conclusion it is recommended the disposal of the sewage without any treatment except removal of the solids, the total length of the emissary being estimated to be 9000 meters.

KEYWORDS

Bacterial pollution, bacterial mortality (T.90), initial dilution, physical dilution, total dilution, mathematical model Plumes, mathematical model Surfer, submarine emissary.

REFERENCIAS

Brooks, N.H. 1960. Difusion of sewage effluents in an ocean current. Proc. Of. First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment. University of California. 1959. Pergamon Press, New York.

Brooks, N.H. 1983. Dispersion in hidrologic and coastal environments. Environmental Protection Agency. Springfield, Virginia, NTIS 141 p.

D'Cross, L. 1988. Survey and Monitoring of Marine Pollution in the Bay of Panama. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 97. Co-operation for Environmental Protection in the Pacific. 1988.

González, A.G.; D. Alvarado & C.T. Díaz. 1975. Canal Zone Water Quality Study. Final Report. Water and Laboratory Branchs, Maintenance Division, Panama Canal Company. Canal Zone. Vol.1,2,3.

I.D.A.A.N. 1977. Informe Sobre Sistemas de Tratamientos de Aguas Negras y Rehabilitación del Casco Viejo de la Ciudad de Panamá. Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales, Panamá. Enero 1977.

Kwiecinski, B. 1997. Alternativas del Sancamiento de la Bahía de Panamá. Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos. Mesa Redonda. Mayo 1997.

Ludwig, R. 1988. Evaluación del Impacto Ambiental: Ubicación y Diseño de Emisarios Submarinos. Informe No. 43 MARC.

Rawn, A.M.; F.R. Bowerman & N.H. Brooks. 1961. Difusers for disposal of ofsewage in sea water. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 126.

Roberts, P.J.W. 1987. The use of current data in ocean outfall desing. Proceedings of IWAPRC. Marine disposal seminar, Rio de Janeiro, Brazil, August 1966, b.18, No. 11 1966. ISBN 008 035 5811, Pergamon Press.

Salas, H.J. 1983. Programa básico de computo para el diseño de un emisario submarino. CEPIS, Lima Perú.

Salas, H. 1994. Emisarios Submarinos. Enfoque General. Conceptos Básicos de Diseño y Requerimiento de Datos para América Latina y el Caribe. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Luis D'Croz, por las constructivas sugerencias; al Sr. Juan B. del Rosario, por la valiosa cooperación en la aplicación del programa SURFER, y a la Lic. Edith González, por la cooperación en la edición final del texto y figuras.

Recibido junio del 2001, aceptado octubre del 2001.

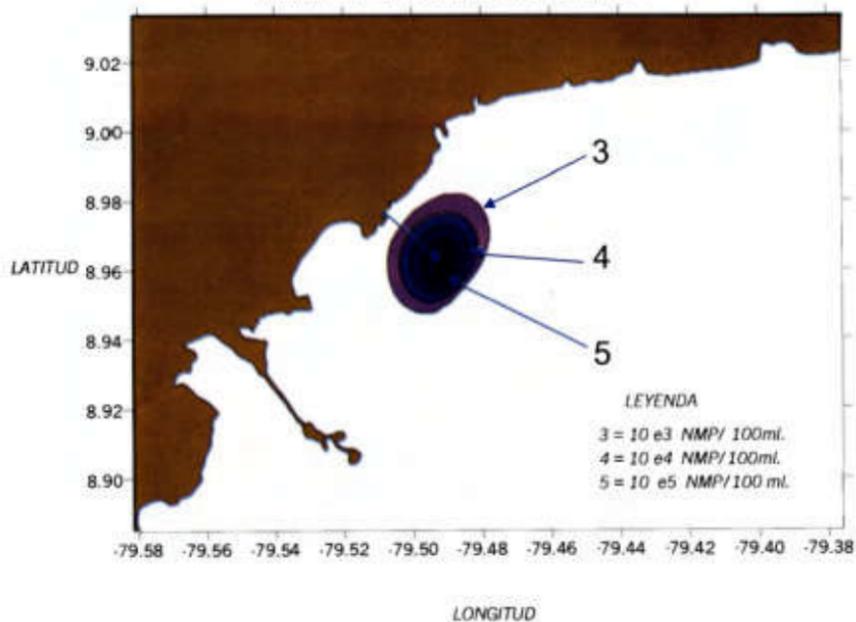
REPRESENTACION DE LA TABLA DE VALORES
DEL MODELO MATEMATICO PLUMES

FIGURA No. 1

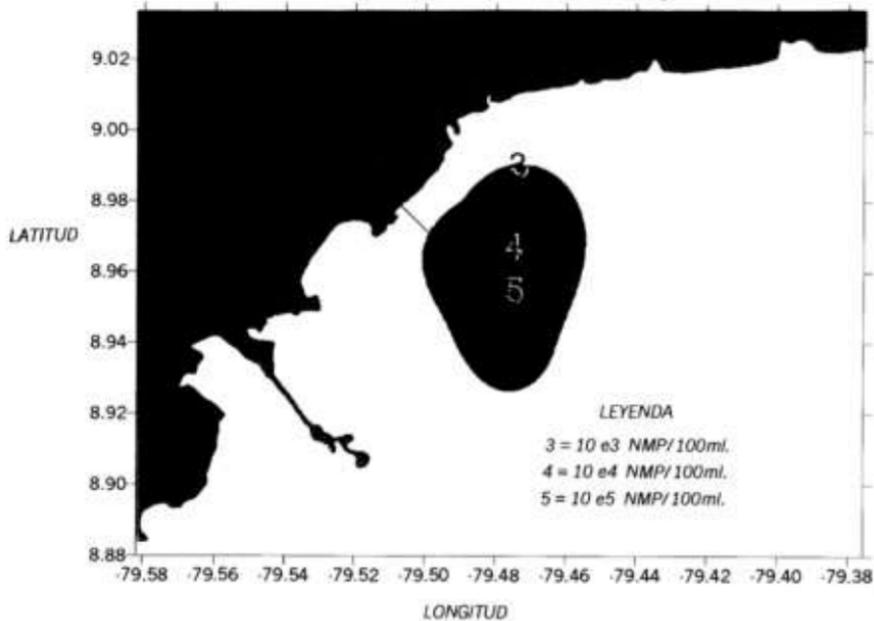
far inc	1000
far dis	7500
asp coefl	0.10
prim frq	500

for angle	rad space	p mib den	p current	far dis	far vel
30	1000.0	14.9347	0.00001000	0.0003	0.20
depth	current	density	salinity	temp	amb core
0.0	1e-5	11.2082	20	28	0
20	1e-5	14.9347	25	28	0

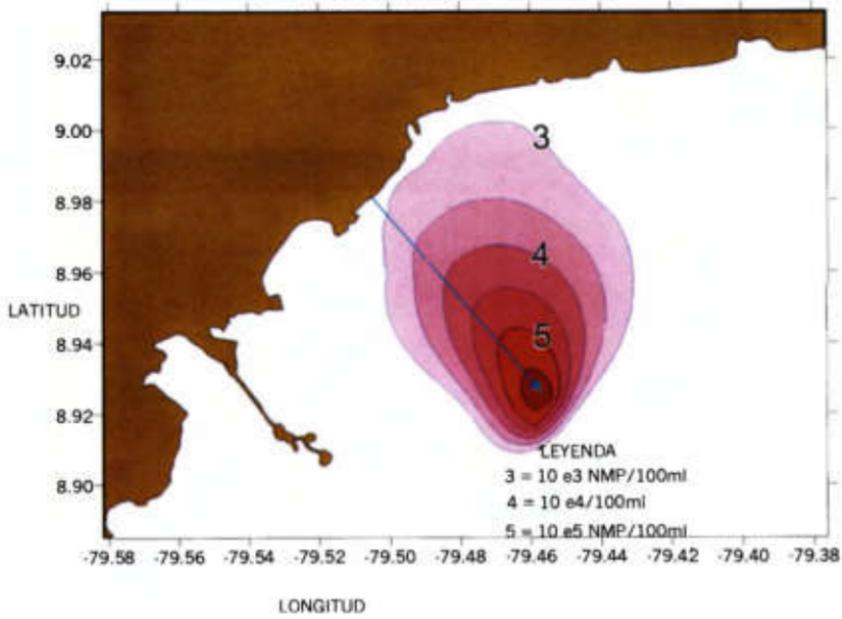


DISTRIBUCION DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LA BAHIA DE PANAMA
EMISARIO DE 3,000m. (SIN TRATAMIENTO).

DISTRIBUCION DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LA BAHIA DE PANAMA
EMISARIO DE 6,000m. (SIN TRATAMIENTO).



DISTRIBUCION DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LA BAHIA DE PANAMA
EMISARIO DE 9,000M.(SIN TRATAMIENTO)



RECONOCIMIENTO AL TRABAJO DE LOS ÁRBITROS

La calidad de una revista depende, en gran medida de los evaluadores. El Comité Editorial expresa un profundo reconocimiento a las siguientes personas por el tiempo y conocimientos invertidos a este número:

Yolanda Águila
Miguel Avilés
Héctor Barrios
Eduardo Camacho
Orlando Concepción
Luis D'Croz
Bernardo Fernández
Alfredo Figueroa
Humberto Garcés
José del R. Garrido
Juan Gómez
Cheslavo Korytkowski
Gerardo Leis
María Lezcano
Iván Luna
Justo Medrano
Juan Nole
Diomédes Quintero
Alberto Tylor
Víctor Tejera
José María Vásquez
Janzel Villalaz
César Villarreal

Esta edición de "TECNOCIENCIA" se terminó de imprimir en la
IMPRESA ARTICSA el día 19 de noviembre de 2001,
en la ciudad de Panamá Rep. de Panamá

Impresión de 500 ejemplares.