



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

TECNOCIENCIA



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

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DISCRIMINANTE A UN CONJUNTO DE DATOS VINÍCOLAS MEDIANTE EL PAQUETE ESTADÍSTICO SPSS v10

¹Mayli Z. Pozo Díaz, ²Gonzalo I. Carrasco O.

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Estadística. E-mail: maylipozo@hotmail.com

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Departamento de Estadística. Centro de Investigación y Consultoría Estadística. E-mail: gcarrasco27@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se muestran y explican los principales elementos que se relacionan con el procedimiento para llevar a cabo el análisis discriminante y la aplicación del mismo utilizando el paquete estadístico SPSS versión 10 (SPSS v10). Aplicando este análisis a los datos originales se muestra, a través de la matriz de clasificación, que el 100% de los vinos fueron clasificados correctamente por medio de las funciones discriminantes canónicas, por lo que se comprueba que estas poseen un alto poder discriminante y pueden ser utilizadas para futuras pruebas de clasificación.

PALABRAS CLAVES

Análisis discriminante, puntuaciones discriminante, lambda de wilks, correlación canónica, análisis multivariado, M de Box, valores propios.

ABSTRACT

This work shown and explain the main elements related with the procedure to carry out the discriminant analysis and the application of the same one using the statistical software SPSS version 10 (SPSSv10). Applying this analysis to the original data, the classification matrix shown that the 100% of wines was classified correctly using the canonical discriminant functions, this verify those functions have a high discriminant power and it can be used for future tests of classifications.

KEYWORDS

Discriminant analysis, discriminant scores, lambda wilks, canonical correlation, multivariate analysis, M's Box, eigenvalues.

INTRODUCCIÓN

El análisis discriminante es un método estadístico por el cual se busca conocer cuales variables, medidas en objetos o individuos, contribuyen en mayor medida a la diferencia de los grupos a los cuales pertenecen dichos objetos o individuos. Con estos atributos medidos se forma una combinación lineal creando una nueva variable que permitirá la máxima separación entre los grupos y la mínima separación dentro de cada grupo.

En este trabajo desarrollamos el modelo estadístico, las condiciones para la aplicación del análisis, la estimación e interpretación de las funciones discriminantes, los métodos de clasificación y la validación de los resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos "Datos de reconocimiento de vinos" son el resultado de un análisis químico de vinos producidos en una región de Italia, pero de diferentes variedades cultivadas o grupos. Esta base de datos es la utilizada para la aplicación del método a través del paquete estadístico SPSS v10 permitiendo así explicar cada uno de los elementos que son expuestos en la teoría.

DEFINICIÓN Y MODELO ESTADÍSTICO

Consideremos g grupos o poblaciones $G_1, G_2, \dots, G_g$ cada una de ellas distribuida $N_p(\mu^l, \Sigma^l)$ para $l=1, 2, \dots, g$. Con matriz de covarianza $\Sigma^1 = \Sigma^2 = \dots = \Sigma^g = \Sigma$ y de rango completo.

Cada uno de estos grupos posee características específicas y únicas, es decir son mutuamente excluyente. La pertenencia de un individuo a un grupo depende de este conjunto de características o variables de predicción. Entonces, se puede definir al análisis discriminante como un procedimiento multivariable utilizado para discriminar y clasificar. Sea $X^{l'n'xp}$ una matriz de datos multivariados de orden $n'xp$ que representa las observaciones de la i -ésima muestra, $i=1, 2, \dots, g$, donde para cada $1 \leq i \leq g$, $1 \leq j \leq n'$ cada fila (individuo) X_j^i de $X^{l'n'xp}$, corresponde al j -ésimo vector aleatorio de orden $1xp$. Entonces $X_{n'xp}$.

es la matriz que representa el conjunto de g matrices X^i de datos multivariados (Rodríguez 1999).

$$X_{exp} = \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{matrix} x_{11}^1 & x_{12}^1 & \dots & x_{1p}^1 \\ x_{21}^1 & x_{22}^1 & \dots & x_{2p}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^1 & x_{n2}^1 & \dots & x_{np}^1 \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} x_{11}^2 & x_{12}^2 & \dots & x_{1p}^2 \\ x_{21}^2 & x_{22}^2 & \dots & x_{2p}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^2 & x_{n2}^2 & \dots & x_{np}^2 \end{matrix} \\ \hline \vdots \\ \hline \begin{matrix} x_{11}^g & x_{12}^g & \dots & x_{1p}^g \\ x_{21}^g & x_{22}^g & \dots & x_{2p}^g \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^g & x_{n2}^g & \dots & x_{np}^g \end{matrix} \end{bmatrix}$$

donde $n = \sum_{i=1}^g n^i$

SUPUESTOS O CONDICIONES PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS

- Existencia de dos o más grupos mutuamente excluyentes.
- Mínimo de dos casos por grupo.
- Las variables independientes deben ser cuantitativas y las dependientes cualitativas.
- Las variables seleccionadas en el modelo no deben ser combinaciones lineales de otras.
- La matriz de varianzas y covarianzas iguales en cada grupo.
- Cada muestra proviene de una población normal multivariada.

OBJETIVOS DEL ANÁLISIS

- Seleccionar las variables de predicción que contribuyen en mayor medida a las diferencias entre los grupos.
- Predecir la probabilidad de pertenencia de un individuo a un grupo, basándose en las variables de predicción, por medio de las reglas de clasificación.
- Evaluar la exactitud de la clasificación en una tabla cruzada en donde se compara la pertenencia real de los individuos a un grupo

con la pertenencia, a un grupo, predicha por medio de las reglas de clasificación.

FUNCIÓN DISCRIMINANTE CANÓNICA

Para el aspecto descriptivo del análisis se utilizan las funciones discriminantes canónicas. Estas funciones son combinaciones lineales de las variables clasificatorias originales cuyo propósito es expresar estas variables en una nueva variable. Esta nueva variable está representada por un eje sobre el cual se proyectan los individuos y será la base para establecer qué variables originales tienen mayor poder discriminatorio entre los grupos. Este eje es llamado eje de la función discriminante.

Procedimiento Discriminante de Fisher

Sea

$$\mathbf{E}_{p \times p} = \sum_{i=1}^g n^i (\mu^i - \mu.) (\mu^i - \mu.)' \quad \text{y} \quad \mathbf{D}_{p \times p} = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n^i} (\mathbf{x}_j^i - \mu^i) (\mathbf{x}_j^i - \mu^i)'$$

$\mathbf{E}_{p \times p}$ se llama matriz de suma de cuadrados y productos cruzados de las medias entre los grupos y que $\mathbf{D}_{p \times p}$ es una matriz no singular que se le llamará matriz de suma de cuadrados y productos cruzados dentro de los grupos.

Sea,

$$\max_{b \neq 0} \lambda = \frac{\mathbf{b}' \mathbf{E} \mathbf{b}}{\mathbf{b}' (\mathbf{D}^{-1} \mathbf{E}) \mathbf{b}}$$

es el valor propio más grande de $\mathbf{D}^{-1} \mathbf{E}$. Este valor propio más grande se denota por λ_1 y este máximo se alcanza cuando $\mathbf{b} = \mathbf{b}_1$, en donde $\mathbf{b}_1$ es un vector propio de $\mathbf{D}^{-1} \mathbf{E}$, asociado al valor propio λ_1 , y que contiene los coeficientes discriminantes relacionados a la primera función discriminante. La primera función posee el mayor poder discriminante (Mardia et al., 1979).

La función discriminante es una función lineal de las p variables independientes, es decir

$$A_m = b_0 + b_{1m}X_1 + b_{2m}X_2 + \dots + b_{pm}X_p$$

$m=1,2,\dots,k$ donde $k=\min(g-1,p)$, en la cual el $\min(g-1,p)$ representa el rango de la matriz $D^{-1}E$. Los k ejes discriminantes vienen definidos respectivamente por los vectores $b_1, b_2, \dots, b_k$. Los vectores propios ($b_2, b_3, \dots, b_k$) serán sucesivamente los vectores normalizados de los precedentes valores propios ($\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k$).

LAMBDA DE WILKS

Mide las desviaciones dentro de cada grupo respecto a las desviaciones totales sin distinguir grupos y toma valores entre 0 y 1 de forma que, cuanto más cerca de 0 esté, mayor es el poder discriminante de la variables consideradas y cuanto más cerca de 1, menor es dicho poder.

Prueba de igualdad de medias de los grupos.

En esta prueba se mide el poder discriminante de cada una de las variables que se consideran para formar parte del análisis, y se verifica la hipótesis nula: $H_0: \mu^1_1 = \dots = \mu^g_1$

El Λ_1 para la l -ésima variable es

$$\Lambda_1 = \frac{D_{11}}{T_{11}} = \frac{\text{Varianza de la variable } l \text{ en la matriz de covarianza dentro de los grupos}}{\text{Varianza de la variable } l \text{ en la matriz de covarianza total}}$$

El estadístico de contraste viene dado por

$$F_1 = \frac{(T_{11} - D_{11})(n - g)}{D_{11}(g - 1)} \sim F_{g-1, n-g}$$

Se rechaza H_0 si $P[F \geq F_{g-1, n-g}]$

Significancia de las Funciones Discriminantes

Una vez calculada las funciones discriminantes, se determina si estas son estadísticamente significativas. Es decir, si el conjunto de las funciones discriminantes separan bien los grupos. En este caso el lambda de wilks viene dado por:

$$\Lambda = \frac{|D|}{|T|} = \frac{1}{\prod_{i=1}^k (1+\lambda_i)}$$

El número de funciones discriminantes significativas se determina mediante un contraste de hipótesis secuencial. Se tiene r , el número de funciones discriminantes significativas. El proceso comienza con $r=0$. En el $(r+1)$ -ésimo paso del algoritmo la hipótesis nula a contrastar es $H_0 = \lambda_{r+1} = \dots = \lambda_k = 0$ donde $k = \min(g-1, p)$.

$$T = \left[n-1 - \frac{p+g}{2} \right] \sum_{i=r+1}^k \log (1+\lambda_i)$$

Es el estadístico de contraste, el cual se distribuye como una $\chi^2_{(p-r)(g-r-1)}$ si H_0 es verdad, con un nivel de significancia α . Se rechaza H_0 si $P [T \geq \chi^2_{(p-r)(g-r-1)}]$.

CORRELACIÓN CANÓNICA

$r^* = \sqrt{\frac{\lambda_1}{1+\lambda_1}}$ El coeficiente de correlación canónica mide, en términos relativos, el poder discriminante de la m -ésima función discriminante ya que es el porcentaje de la variación total en dicha función que es explicada por las diferencias entre los grupos. Toma valores entre **cero (0)** y **uno (1)**. Valores cercanos a **uno (1)** indican mayor potencia discriminante de la m -ésima función (Salvador 2000).

CÁLCULO DE LA PUNTUACIONES DISCRIMINANTES

Para cada individuo se calcula una puntuación discriminante correspondiente a cada una de las funciones discriminantes. Cada individuo tendrá tantas puntuaciones según el número de funciones

discriminantes. Esta puntuación se obtiene reemplazando en la ecuación $A_{jm} = b_0 + b_1X_{1j} + b_2X_{2j} + \dots + b_pX_{pj}$ donde, A_{jm} es la puntuación discriminante del individuo j en la función m -ésima, $1 \leq m \leq k$ (Gondar 2001).

Con estas puntuaciones se permite establecer, para cada individuo, un punto en el plano gráfico formado por las funciones discriminantes. Cada función discriminante actúa como eje de coordenadas. El centroide de grupo está constituido por las medias de estas puntuaciones, en cada una de las funciones, para un grupo en particular. Habrán tantos centroides como grupos.

MATRIZ DE ESTRUCTURA

Es una matriz que contiene, por filas, los coeficientes de correlación de las funciones discriminantes, con las variables originales. De esta forma es posible detectar el peso o importancia de cada una de las variables originales con respecto a las funciones discriminantes.

REGLA DE CLASIFICACIÓN DE BAYES (PROBABILIDAD A POSTERIORI)

Esta regla permite calcular la probabilidad de pertenencia de cada individuo, con una puntuación discriminante obtenida, a cada grupo y asignar al individuo al grupo que presente mayor probabilidad. La probabilidad estimada de que un individuo j , con puntuaciones discriminantes $A=(a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jk})$, pertenezca al grupo i es :

$$P(G_i/A) = \frac{P(G_i) |M^i|^{-1/2} e^{-(X^i)^2/2}}{\sum_{i=1}^g P(G_i) |M^i|^{-1/2} e^{-(X^i)^2/2}}$$

El individuo será clasificado en el grupo para el que la probabilidad *a posteriori* sea la mayor, será clasificado en G_i si

$$P(G_i/A) = \max \{ P(G_1/A), P(G_2/A), \dots, P(G_g/A) \} \text{ (Ferrán 2001)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tenemos 178 observaciones de vinos relativas a 13 variables cuantitativas clasificadas en 3 variedades cultivadas. Las 13 variables que miden las características químicas de los vinos son: X_1 : Alcohol. X_2 : Ácido Málico. X_3 : Ceniza. X_4 : Alcalinidad de la ceniza.

X5: Magnesio. **X6:** Total de Fenoles. **X7:** Flavenoides **X8:** Fenoles no flavenoides. **X9:** Proantocianinas. **X10:** Intensidad del Color. **X11:** Tonalidad. **X12:** OD280/OD315 de los vinos diluidos. **X13:** Prolina.

De las 13 variables, 11 se distribuyen normalmente en cada uno de los grupos. La variable ácido málico no se distribuye normalmente en la Variedad 1 y tampoco en la Variedad 2; y la variable magnesio no tiene una distribución normal en la Variedad 2. Sin embargo, si determinamos la prueba de normalidad a ambas variables sin separar los grupos observamos que la variable ácido málico no se distribuye normalmente, por lo que se toma la decisión de no incluir esta variable como variable del análisis.

Para generar los autovalores y las funciones discriminantes canónicas se seleccionó aleatoriamente el 92.1% de la muestra de vinos (muestra de análisis) que corresponde a 164 observaciones. La clasificación de estos casos seleccionados posteriormente se comparó, con la clasificación de los vinos que no fueron seleccionados (muestra de validación).

La prueba de igualdad de medias nos demuestra que considerando las variables de forma individual, sus valores de significancia son menores a 0.05, por lo tanto, las medias de las 12 variables son diferentes en los tres grupos. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba de igualdad de las medias de los grupos.

	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	Sig.
Alcohol	.40	117.08	2	161	.000
Ceniza	.90	8.93	2	161	.000
Alcalinidad de la Ceniza	.69	35.86	2	161	.000
Magnesio	.89	9.86	2	161	.000
Total de Fenoles	.48	85.11	2	161	.000
Flavenoides	.27	208.77	2	161	.000
Fenoles No	.74	28.32	2	161	.000
Proantocianin	.73	28.78	2	161	.000
Intensidad del	.41	111.99	2	161	.000
Tonalida	.44	100.18	2	161	.000
OD280/OD315 de Vinos	.30	181.44	2	161	.000
Prolina	.30	180.38	2	161	.000

En el cuadro 2 se contrasta la igualdad de matrices de varianzas-covarianzas por medio de la M de Box, en donde se indica que el valor $p=0.000$ (≤ 0.05) y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas-covarianzas. “La razón por la cual se rechaza la igualdad de matrices es porque para las muestras grandes la prueba de las matrices de varianzas-covarianzas es tan poderosa que casi siempre rechaza la igualdad de esas matrices. Sin embargo, la diferencias entre las matrices de covarianzas pueden no ser suficientemente grandes como para tener alguna importancia práctica real.”(Johnson 2000).

Cuadro 2. Resultados de la prueba M de Box.

M de Box		702.24
F	Aprox.	4.014
	gl1	156
	gl2	58933.47
	Sig.	.000

Contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas poblacionales son iguales.

Los autovalores o valores propios asociados con la primera y segunda funciones discriminantes canónicas, se muestran en el cuadro 3. Son dos funciones discriminantes debido a que el $\min(3-1,12)=2$. El valor propio asociado a la primera función es 9.195 y explica el 71.3% de la varianza en los datos. Este primer valor propio es muy alto, por lo tanto esta función aporta mucha información y discriminará muy bien. Con respecto a las correlaciones canónicas ambas con valores grandes, cercanos a uno, esto quiere decir que la segunda función discrimina bien a pesar que solo explique el 28.7% de la varianza.

Cuadro 3. Autovalores.

Funcion	Autovalor	% de Varianza	% Acumulado	Correlación Canónica
1	9.195 ^a	71.3	71.3	.950
2	3.700 ^a	28.7	100.0	.887

a. Se han empleado las 2 primeras funciones discriminantes canónicas en el análisis (Manzano 2001).

El cuadro 4 presenta los coeficientes de las funciones discriminantes (coeficientes no estandarizados), con los que se construyen las funciones discriminantes canónicas. Con estas funciones se obtendrán las puntuaciones discriminantes para cada individuo.

Cuadro 4. Coeficientes de las funciones canónicas discriminantes.

	Función	
	1	2
Alcohol	.421	.950
Ceniza	.526	2.414
Alcalinidad de la Ceniza	-.173	-.140
Magnesio	.00033	-.0032
Total de Fenoles	-.731	-.107
Flavenoides	1.629	-.557
Fenoles No Flavenoides	.916	-1.335
Proantocianinas	-.262	-.295
Intensidad del Color	-.303	.251
Tonalidad	1.123	-2.109
OD280/OD315 de los Vinos Diluidos	1.241	.099
Prolina	.003	.003
(Constante)	-9.896	-14.215

coeficientes no estandarizados

Ahora se determina si las funciones generadas son estadísticamente significativas, es decir si el conjunto de las funciones permite que las medias de los grupos estén separadas. En el cuadro Lambda de Wilks (Cuadro 5) se observa que el valor de la lambda de wilks para el conjunto formado por las dos funciones es 0.021; el segundo valor obtenido cuando se elimina la primera función es 0.213, y corresponde a la segunda función. Ambos valores son cercanos a cero (0) por lo que se concluye que ambas funciones tienen un alto poder discriminatorio. Esto se corrobora al ver que los p-valores asociados al estadístico chi-cuadrado son menores que 0.05 (columna "sig") por lo que se rechaza las hipótesis nulas de $\lambda_1=\lambda_2=0$ y $\lambda_2=0$, y concluimos que ambas funciones son significativas.

Cuadro 5. Lambda de Wilks.

Contraste de las funciones	Lambda de Wilks ^a	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1 through 2	.021	601.71	24	.000
2	.213	240.65	11	.000

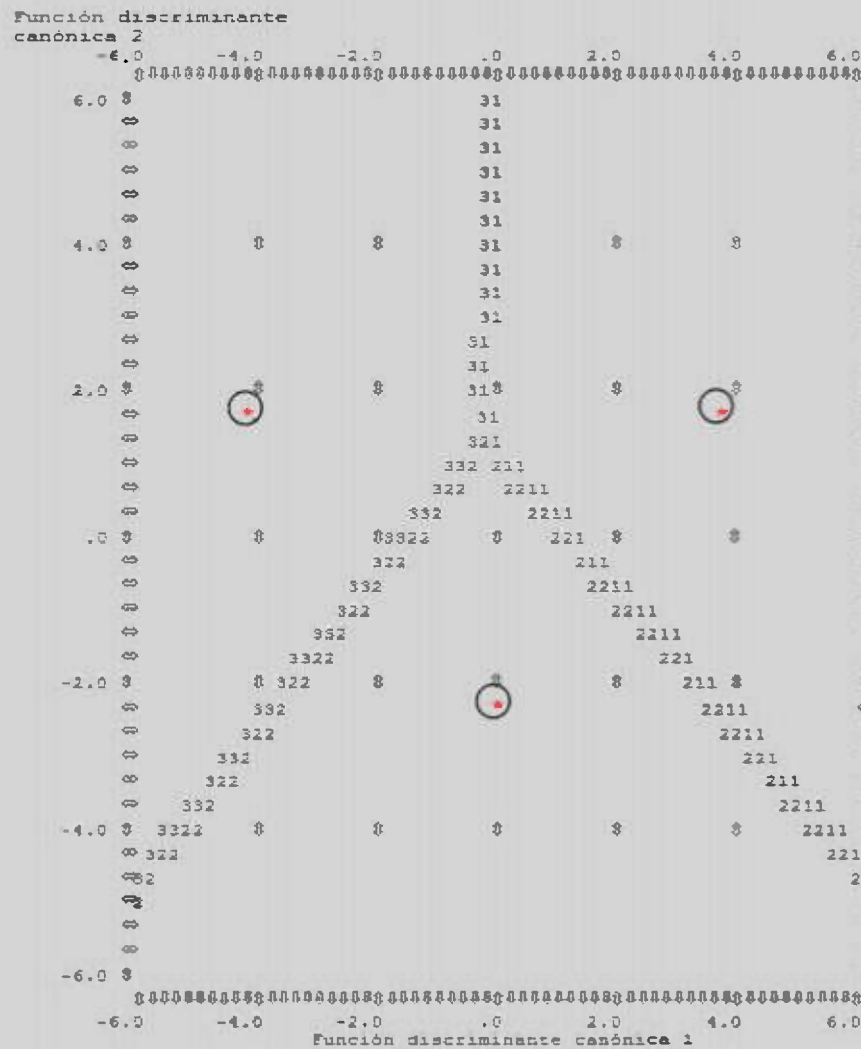


Fig. 1. Mapa Territorial.

Los centroides están representados gráficamente en el mapa territorial (Fig. 1). Como se puede observar, cada eje es representado por las funciones discriminantes (con coeficientes no estandarizados), en donde los números 1, 2 y 3 delimitan el espacio de cada grupo y los asteriscos (*) representan los centroides de cada grupo. Se puede observar cómo discriminan perfectamente, en conjunto ambas funciones, entre los grupos manteniendo a los centroides alejados unos de otros. Sin embargo, se puede ver que los centroides del grupo 1 y 3 están casi alineados, por lo que se puede decir que la función 2 no hace una buena discriminación entre estos dos grupos, a pesar de ser significativa.

En la matriz de estructura se observan las correlaciones que hay entre las variables y cada una de las 2 funciones. Las variables están agrupadas dentro de cada función según el tamaño de la correlación y están marcadas con un asterisco (*).

La variable flavenoides, es la que tiene la mayor correlación con la función 1. En la función 2, la variable alcohol es la que tiene la correlación más alta con esta función.

Cuadro 6. Matriz de estructura. Correlaciones intra-grupo combinadas entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas tipificadas.

	Función	
	1	2
Flavenoides	.529*	-.068
OD280/OD315 de los Vinos	.476*	-.214
Total de Fenoles	.339*	.026
Tonalidad	.313*	-.305
Alcalinidad de la Ceniza	-.207*	-.116
Proantocianinas	.197*	-.012
Fenoles No Flavenoides	-.196*	.006
Alcohol	.152	.579*
Intensidad del Color	-.164	.556*
Protina	.361	.531*
Ceniza	-.002	.173*
Magnesio	.066	.149*

*.Variables ordenadas por el tamaño de la correlación con la función.

A partir de las puntuaciones discriminantes en las dos funciones (columnas "puntuaciones discriminantes") se obtiene la máxima probabilidad *a posteriori* de pertenecer a un grupo (columna " $P(G=g | A=a)$ "), el grupo en el cual se ha obtenido dicha probabilidad está indicado en la columna "Grupo pronosticado". El grupo pronosticado se compara con el grupo real al que pertenece el individuo (columna "Grupo real"). Si uno de los vinos ha sido clasificado en el mismo grupo al cual pertenecía inicialmente entonces las funciones discriminantes lo han clasificado correctamente. Las clasificaciones erróneas son mostradas con un doble asterisco (**) en la columna que contiene la identificación del grupo real, en nuestro caso todos los vinos fueron clasificados correctamente. Se puede notar que todas las probabilidades *a posteriori* obtenidas para cada uno de los vinos son altas. Las observaciones marcadas con (u) son aquellas que no fueron seleccionadas para generar las funciones discriminantes.

Cuadro 7. Estadísticas por casos

Estadísticos							
Individuo	Grupo real	Grupo mayor				Puntuaciones discriminantes	
		Grupo pronosticado	P(A>n / G=g)		P(G=g A=n)	F1	F2
			p	g ¹			
1	1	1	.435	2	1.000	4.782	4.782
2	1	1	.571	2	1.000	4.520	1.046
3	1	1	.941	2	1.000	3.506	1.165
4	1	1	.	.	.	.	.
5	1	1	.	.	.	.	.
14	1	1	.120	2	1.000	5.587	1.911
15	1	1	.020	2	1.000	5.746	3.268
16 ^u	1	1	.552	2	1.000	3.544	2.600
17	1	1	.	.	.	.	.
18	1	1	.	.	.	.	.
86	2	2	.671	2	1.000	.819	-2.186
87 ^u	2	2	.369	2	1.000	-1.021	-3.386
88	2	2	.652	2	1.000	-.456	-3.183
89	2	2	.	.	.	.	.
90	2	2	.	.	.	.	.
163 ^u	3	3	.348	2	1.000	-3.243	.492
164	3	3	.363	2	1.000	-2.795	1.340
165	3	3	.	.	.	.	.
166	3	3	.	.	.	.	.
176	3	3	.440	2	1.000	-4.566	2.814
177	3	3	.605	2	1.000	-4.174	2.589
178	3	3	.215	2	1.000	-5.279	2.965

Como último paso está probar la calidad de la clasificación de los vinos por medio de la matriz de clasificación. Los resultados se muestran en el cuadro 8 resultados de la clasificación. La clasificación en base a la muestra de análisis (casos seleccionados) indica que por cada grupo el 100% de los vinos fueron clasificados correctamente. Cuando se ha hecho la clasificación en base a la muestra de validación (casos no seleccionados) el 100% de los vinos fueron clasificados correctamente. Con esto se concluye que las funciones obtenidas tiene una buena capacidad predictora.

Cuadro 8. Resultados de la clasificación

				Grupo de pronosticado			Total
				1	2	3	
Casos seleccionados	Original	Recuento	1	54	0	0	54
			2	0	65	0	65
			3	0	0	45	45
	%		1	100.0	.0	.0	100.0
			2	.0	100.0	.0	100.0
			3	.0	.0	100.0	100.0
Casos no seleccionados	Original	Recuento	1	5	0	0	5
			2	0	6	0	6
			3	0	0	3	3
	%		1	100.0	.0	.0	100.0
			2	.0	100.0	.0	100.0
			3	.0	.0	100.0	100.0

CONCLUSIONES

Los valores cercanos a cero (0) del Lambda de Wilks obtenidos en la prueba de significancia de las funciones discriminantes canónicas generadas nos demuestra que ambas funciones tienen un alto poder discriminante.

Por medio del mapa territorial se puede visualizar claramente el poder discriminatorio de ambas funciones discriminantes canónicas al observar que los centroides de los grupos están alejados uno del otro.

Mediante la matriz de estructura podemos observar que las variable Flavenoides y OD280/OD315 de los vinos diluidos poseen mayor correlación con la función 1; y, las variables alcohol, intensidad de color y prolina son las que poseen mayor correlación con la función 2.

Mediante, la matriz de clasificación se muestra que el 100% de los vinos fueron clasificadas correctamente por medio de las funciones discriminantes canónicas, por lo que se comprueba que estas poseen un alto poder discriminante y pueden ser utilizadas para futuras pruebas de clasificación de individuos nuevos.

REFERENCIAS

Ferrán, A., M. 2001. *Spss para windows – Análisis estadístico*. España, McGraw-Hill/Interamericana.

Gondar, N., J. E. 2001. *Análisis discriminante* [Internet] Disponible en: <<http://www.estadistico.com/arts.html?20011112>>.

Johnson, D., E. 2000. *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. Edición en español. C. V., International Thomson Editores, S. A., pp 240.

Manzano, A. J. 2001. *El análisis discriminante* [Internet] Universidad de Valencia. Disponible en: : <<http://www.uv.es>>

Mardia, K. V., et al. Kent, J. T. e J. M. Bibby. 1979. *Multivariate analysis*. 6ta Edición. London, Academic Press.

Rodriguez, C. 1999. *El análisis discriminante y su aplicación*. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá.

Salvador, F., M. 2000. *Análisis discriminante* [Internet] Disponible en: <<http://www.5campus.com/leccion/discri>>

Recibido noviembre de 2003, aceptado junio de 2004.

EFFECTOS DEL ALCOHOL SOBRE LA AGREGACIÓN PLAQUETARIA

Amada Domínguez¹, Gisela Bethancourt², José Young³

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Genética y Biología Molecular

²Universidad de Panamá, Instituto Especializado de Análisis

³Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal

RESUMEN

El consumo de alcohol está asociado al riesgo de enfermedad tromboembólica y a complicaciones de enfermedad cardíaca las cuales en parte tienen su origen en la disfunción plaquetaria producida por la ingesta de alcohol. En un grupo de 15 sujetos se encontró inhibición de la agregación de las plaquetas en plasma rico en plaquetas medida con la técnica de agregometría luego del consumo moderado (13 gramos) de alcohol comercial, de manera aguda, con una concentración sanguínea media de 0,2133 g/L. La inhibición fue significativa ($p = 0,05$) en los casos de los agonistas epinefrina, ristocetina y ADP (13%; 7,3%; 4,8%; respectivamente). El efecto inhibitor fue más acentuado en las mujeres que en los hombres. Este efecto se demostró independiente de flavonoides y taninos. La importancia del estudio radica en que el consumo de bajas dosis de alcohol podría contribuir a la prevención de procesos trombo-embólicos que generan infarto agudo de miocardio o isquemia cerebral.

PALABRAS CLAVES

Plaquetas, agregación, alcohol, tromboembolia, infarto.

ABSTRACT

Alcohol consumption is associated to higher risk for thromboembolic disease and heart disease complications produced in part by platelet impairment related to alcohol ingestion. Using the aggregometry technique, in a group of 15 individuals, acute inhibition of platelet aggregation was found in platelet rich plasma under moderate alcohol consumption (13 g) with a blood alcohol concentration of 0,2133 g/L. The inhibition of platelet aggregation was significant ($p = 0,05$) with epinephrine.

ristocetin and ADP (13%; 7,3%; 4,8%; respectively). The inhibitory effect was greater in women than in men. The study demonstrates a flavonoid or tannin independent effect. The importance of low alcohol consumption might be in the prevention of thrombo-embolic processes leading to myocardial infarction or stroke.

KEYWORDS

Platelet aggregation, alcohol, stroke, thrombus, emboli.

INTRODUCCIÓN

La incidencia de enfermedades cardiovasculares y el consumo de alcohol ocupan cifras importantes en las estadísticas de salud de nuestra población. (OEA/CICAD 2003).

El alcohol tiene diversos efectos sobre el sistema cardiovascular, a nivel de las arterias coronarias, la presión arterial y los mecanismos trombóticos (Ballard 1997). Estos últimos son un factor sumamente importante en la génesis de la enfermedad isquémica cardíaca y cerebral. Se sabe que el consumo moderado de alcohol tiene acción sobre las plaquetas (Rand et al., 1990; Renaud & Ruf 1996; Zhang et al., 2000). La Asociación Americana de Medicina señala que el consumo de menos de 12 gramos de alcohol se relaciona con 20% menos riesgo de ataque isquémico y el consumo de más de 60 gramos incrementa el riesgo de ataque isquémico y hemorrágico. (Stampfer et al., 1988; Goldberg et al., 2001; Reynolds et al., 2003).

Además del efecto tóxico directo, el etanol posiblemente tenga acciones en varios mecanismos fisiológicos de la hemostasia y coagulación, los cuales varían con el tipo de bebida debido a la presencia de jugos de frutas y taninos; el tiempo de consumo y la interacción con la dieta (Numminen 2000; Rubin & Rand 1994; Pearson 1996). Los estudios sobre la relación alcohol - agregación plaquetaria inducida por trombina no ha mostrado resultados consistentes (Elmér et al., 1984; Hendriks et al., 1994). El uso terapéutico de la aspirina ha sido la regla para la prevención del desarrollo de los trombos, no obstante, el uso de alcohol a bajas dosis y de otras sustancias no alcohólicas podría ser importante en el control y la evolución de enfermedades hematológicas que se presentan en las personas que ingieren alcohol (Stein et al., 1999; Reynolds et al., 2003).

En este estudio se presentan resultados de los efectos del consumo agudo de alcohol a dosis bajas sobre la agregación de las plaquetas, medida a través de la técnica de agregometría con agonistas de uso clínico como la epinefrina, colágeno, ADP y ristocetina.

MATERIALES Y MÉTODOS

- A. Sujetos:** un total de 15 sujetos (7 femeninos, 8 masculinos) fueron seleccionados, después de verificar a través de una entrevista, si cumplían con los criterios de no estar bajo medicación con antiinflamatorios, no haber ingerido bebidas alcohólicas al menos durante dos semanas, no padecer de enfermedad hematológica ni cardiovascular. A cada sujeto se le explicó detalladamente la investigación y firmó una proforma de consentimiento informado. El grupo comprendía edades entre 20-42 años y peso corporal entre 56,36 Kg. a 105,45 Kg.
- B. Dosis de alcohol:** se utilizó alcohol comercial 35°-37° g/L de uso legal para consumo humano aprobado por el Ministerio de Salud. La dosis calculada fue de 0,3 g de alcohol/ Kg. de peso corporal (Bailey 1995). La concentración sanguínea de alcohol se calculó usando el programa *on line* de Craig Medical, Inc. USA con los datos de cada sujeto como punto de referencia.
- C. Preparación del PRP, del PPP y pruebas de agregación plaquetaria:**
- Se extrajeron 10 mL de sangre venosa anticoagulada con citrato de sodio al 3,8%.
 - Para obtener el plasma rico en plaquetas (PRP) se centrifugó la muestra de sangre a 10g durante 5-7 minutos. El PRP se distribuyó en alícuotas de 450uL incubadas 3 min. a 37°C en el agregómetro y homogenizadas con un agitador metálico a 1200 rpm antes de la prueba.
 - Para obtener el Plasma Pobre en Plaquetas (PPP) se centrifugó la muestra a 20g durante 10 minutos. El sobrenadante se conserva como PPP y es usado como blanco.
 - Agregación plaquetaria:** Reactivos agregantes (Helena Laboratories, USA): epinefrina (300uM); colágeno (10ug/mL); ADP (20uM), ristocetina (1,5mg/mL); todas son concentraciones finales. Se utilizó un agregómetro Chronolog modelo 560 con interface 810/DR Aggro/link y programa

810 Aggro/link (Pennsylvania, USA) mezclando 450 uL de muestra con 50 uL de agregante.

D. Procedimiento: una vez seleccionados los sujetos, fueron pesados y su dosis de alcohol calculada. Se extrajo una muestra de sangre control (sin alcohol) y 45 minutos después de ingerir el alcohol se extrajo la segunda muestra. Ambas muestras fueron procesadas como se indica en el punto C y se procedió a la agregación plaquetaria con colágeno, epinefrina, ADP y ristocetina. Se obtuvieron los resultados de porcentaje de agregación y pendiente de la curva de agregación con cada agregante de cada muestra para su análisis posterior.

E. Tratamiento estadístico: prueba *t* para medidas repetidas con nivel de confianza 0,05. (Horvath, 1985).

<i>Variable independiente:</i>	ingesta de alcohol
<i>Variable dependiente:</i>	agregación plaquetaria

H₀: % de agregación sin alcohol = % de agregación con alcohol

H₁: % de agregación sin alcohol > % de agregación con alcohol

RESULTADOS

En todos los casos se observó inhibición de la agregación plaquetaria después de 45-60 minutos de la ingesta de alcohol; la media de ingesta de alcohol fue de $13,01 \pm 10,86$ gramos con una concentración sanguínea media calculada de $0,2133 \pm 0,012$ g/L de sangre. Las pruebas de agregación plaquetaria fueron realizadas siguiendo los estándares del Laboratorio de Hematología Especial del Complejo Hospitalario Metropolitano (CSS, Panamá). Fig 1,2,3.

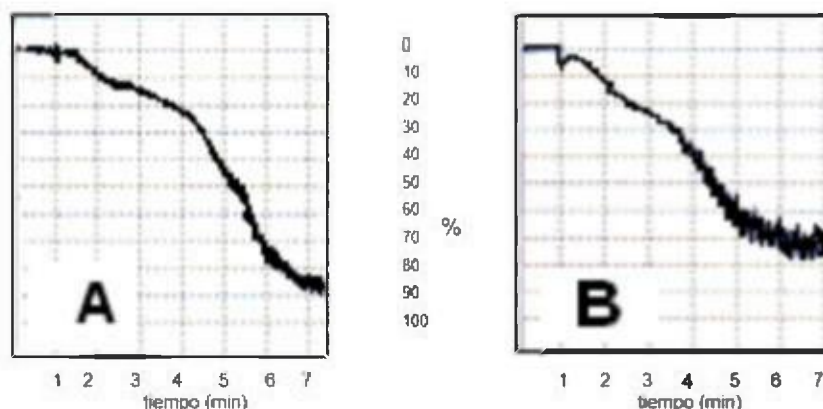


Fig. 1. Curvas representativas de porcentaje de agregación plaquetaria, en mujeres, estimulada por epinefrina, A: control (88%); B experimental (77%).

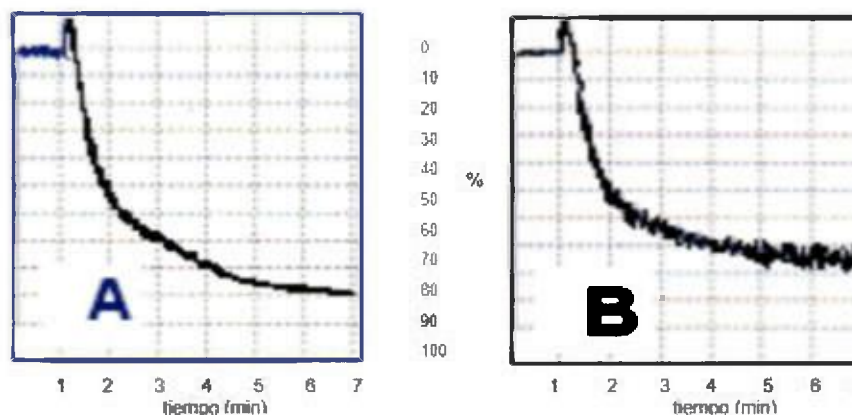


Fig. 2. Curvas representativas de agregación plaquetaria, en mujeres, estimulada por ADP. A: control (87%); B experimental (79%).

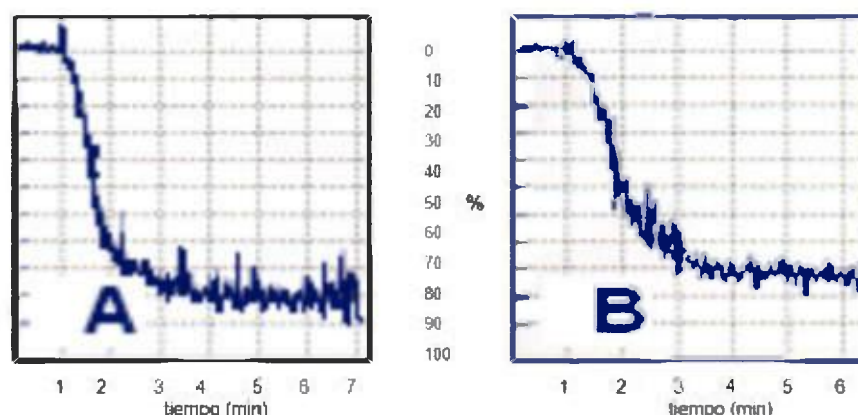


Fig. 3. Curvas representativas de agregación plaquetaria, en mujeres, estimulada por ristocetina. A: control (93%); B experimental (80%).

La mayor variación porcentual se observó en el caso de la agregación plaquetaria inducida por epinefrina (13%), seguida de ristocetina (RIPA) (7,3%), ADP (4,8%) y colágeno (2,3%). Fig 4.

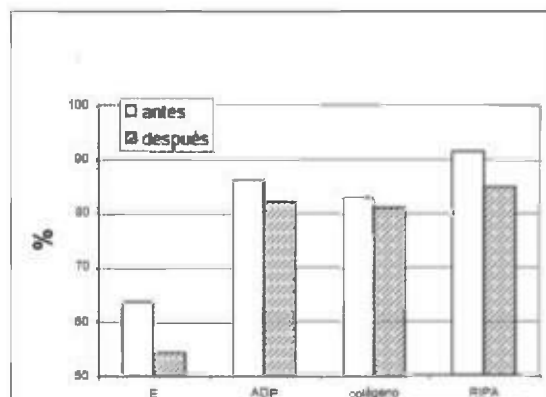


Fig. 4. Cambios del porcentaje de agregación plaquetaria.

Cuando se agrupan los valores de acuerdo al sexo se observa en las mujeres (n=7) un efecto más pronunciado ya que el mayor porcentaje de inhibición con la epinefrina fue de 16,05% y con el ADP 6,99%, mientras que el sexo masculino (n=8) las variaciones fueron menores. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Disminución porcentual de la agregación plaquetaria después de la ingesta de alcohol según sexo.

	Porcentajes de disminución			
	Epinefrina	ADP	Colágeno	RIPA
TOTAL (n=15)	13,00	4,80	2,30	7,30
Valor <i>t</i>	2,503*	2,67*	0,7608 ^{ns}	3,11**
Mujeres (n=7)	16,05	6,99	2,14	5,64
Hombres (n=8)	3,47	2,48	1,73	8,72

ns: no significativo; *: $p = 0.05$; **: $p = 0.01$

DISCUSIÓN

La Organización Mundial de la Salud define el alcoholismo como la ingestión diaria de más de 50g de alcohol en las mujeres y más de 70g en los hombres, estas cantidades producirán en muchos casos hepatopatía alcohólica. El organismo tolera sin problemas dosis moderadas de alcohol las cuales son consideradas entre 10-30g diarios (Consumer 2002), esta "tolerancia" se explica porque el hígado a través de la deshidrogenasa alcohólica lo metaboliza en aproximadamente una hora. En nuestro estudio utilizamos una dosis de 13g de alcohol, lo cual es considerado un consumo moderado, con esta cantidad encontramos inhibición de la agregación plaquetaria con la epinefrina, ADP, colágeno y ristocetina hecho que es importante en la prevención del desarrollo de enfermedad tromboembólica y estaría asociado a los hallazgos de disminución del riesgo relativo de enfermedad coronaria y de ataques isquémicos (Stampfer et al., 1988). El mecanismo exacto de esta disminución permanece elusivo, se ha sugerido aporte del óxido nítrico (NO), de la adenosina y los flavonoides (Demrow et al., 1995). Se sabe que el consumo moderado no tiene efecto significativo sobre alteraciones del plasminógeno, fibrinógeno, tPA tipo 1, el factor VII ni el factor von Willebrand (Dunn et al., 1981; Lijnen & Collen 1995; Rimm 2000) sin embargo, ya se habían publicado reportes (Hendriks 1994) de que la ingesta moderada de alcohol junto con una comida aumentaba los niveles de activador del plasminógeno. El mecanismo por el cual el alcohol actúa disminuyendo la agregación plaquetaria podría ser por inhibición de la liberación de TXB₂ o por aumento de PGI₂ ya que el acetaldehído producto de la acción de la alcohol deshidrogenasa aumenta los niveles de PGI₂, por consiguiente el efecto neto del alcohol residiría en un desbalance de la relación PGI₂/TXB₂ que llevaría a una inhibición de la agregación con disminución del riesgo de enfermedad trombótica. Estamos de acuerdo con otros autores (Zhang et al., 2000; Goldberg et al., 2001) que el alcohol *per se* tiene efectos antiagregantes ya que usamos alcohol sin taninos o flavonoides a los cuales se les adjudica la acción inhibitoria (Stein 1999) y encontramos inhibición con significancia estadística en tres de los cuatro ensayos (n = 15) (Cuadro 1). Una inhibición plaquetaria significativa que se logra si la concentración sanguínea de alcohol supera 0,15g/L (Séller & Folts 1990), logramos la inhibición con una concentración media de alcohol en sangre de $0,21 \pm 0,012$ g/L.

El efecto agregante de la epinefrina sobre las plaquetas es directo debido a la presencia de receptores α_2 y β_2 los cuales varían su densidad relativa de acuerdo a la especie (Rifkind et al., 1984). En nuestro estudio se obtuvo la mayor inhibición de la agregación tanto en hombres como en mujeres (13%; $p = 0,05$) lo que puede explicarse porque la exposición de las plaquetas intactas a la epinefrina reduce la afinidad aparente de los receptores α_2 . (Hollister et al., 1983; Siess 1989; Wang & Cheng 1999). Esta exposición a epinefrina endógena, que es efectiva por 1-2 horas, sería suficiente para disminuir la agregación observada en el estudio y que pudo haberse iniciado desde el pesaje del sujeto y la extracción de la muestra. Con los agonistas ristocetina y ADP fue menor el porcentaje de inhibición de la agregación. Los reportes con ADP son controversiales (Renaud & Ruf 1996; Zhang et al., 2000) dado el hecho de que el ADP es convertido por las plaquetas a adenosina la cual a su vez se metaboliza en AMP y ATP. El consenso es una inhibición de la agregación epinefrina dependiente ya que ésta última aumenta la afinidad del receptor que sería el resultado que se encontró en nuestro estudio. La ristocetina es un antibiótico que se usa en estudios clínicos de evaluación de pacientes con alteraciones de la fisiología del factor von Willebrand (vW) por su interacción con el receptor de glicoproteína Ib (GPIb). Se ha reportado inhibición de la agregación plaquetaria inducida por ristocetina y de la formación de trombos al inhibir la interacción de la GPIb con el factor vW con el uso de flavonoides (Mruk et al., 2000). En nuestro estudio se encontró inhibición de la agregación inducida por ristocetina a bajas dosis de alcohol e independiente de flavonoides.

CONCLUSIÓN

El consumo moderado agudo de alcohol comercial (13 gramos) inhibe la agregación de las plaquetas en PRP inducida por epinefrina (13%; $p = 0,05$), ristocetina (7,3%; $p = 0,01$) y ADP (4,8%) ($p = 0,05$). El efecto es independiente de taninos o flavonoides y más notable en el sexo femenino (16% de inhibición con epinefrina).

REFERENCIAS

Ballard, H. 1997. Haematological complications of alcoholism. Alcohol Health & Res. World 21(1):42-52.

Bailey, W. 1995. Fact line on Alcohol Doses, Measurements and blood Alcohol, Levels. Indiana Prevention Resource Center. The Trustees of Indiana University.

Consumer (editorial). 2002. Alcohol en la alimentación, afecta al organismo más de lo que creemos. Revista Nº 61. España.

Demrow, H.S., P.R. Slane & J.D. Folts. 1995. Administration of wine and grape juice inhibits in vivo platelet activity and thrombosis in stenosed canine coronary arteries. *Circulation*. 91: 1182–1188.

Dunn, E.L., R.G. Cohen, E. E. Moore & R. D. Hamstra. 1981. Acute alcohol ingestion and platelet function. *Arch. Surg.* Vol 116 (8):1082-1083.

Elmér, O. G. Göransson & E. Zoucas. 1984. Impairment of primary hemostasis and platelet function after ethanol ingestion in man. *Haemostasis* 14:223-228.

Goldberg, I.J. L. Mosca, E. Fisher & M.R. Piano. 2001. AHA Science Advisory: Wine and your heart: a science advisory for healthcare professionals from the Nutrition Committee, Council on Epidemiology and Prevention, and Council on Cardiovascular Nursing of the American Heart Association. *Circulation* 103: 472–475.

Hendriks, H.F., J. Veenstra, Veithuiste Wierick EJM, G. Schaafsma & C. Kluft. 1994. Effect of moderate dose of alcohol with evening meal on fibrinolytic factors. *Br Med J*. 308:1003-1006.

Hollister, A.S., G.A. Fitzgerald, J.H. Nadeau, D. Robertson. 1983. Acute reduction in human alpha 2 adrenoreceptor affinity for agonist by endogenous and exogenous catecholamines. *J Clin. Invest.* 72(4):1498-1505.

Horvath, T. 1985. Basic Statistics for Behavioral Sciences. Little Brown and Co. USA.

Keller, J.W. & J. Folts. 1990. Combined inhibitory effects of aspirin and ethanol on adrenaline exacerbation of acute platelet thrombus formation in stenosed canine coronary. *Cardiovas. Res.* 24: 191–197.

Lijnen, H.R. & D. Collen. 1995. Mechanism of physiological fibrinolysis. *Clinical Haematology*. Bailliere Tindall Inc. pp 277-290.

Mruk, J., M. Webster, M. Heras, J. Reid, D. Grill, J. Chesebro. 2000. Flavone-8-acetic acid profoundly reduces platelet-dependent thrombosis and vasoconstriction after deep arterial injury in vivo. *Circulation*. 101(3):324.

Numminen, H. 2000. Actions of alcohol and ischemic brain infarction. Academic Dissertation. University of Oulu Library©, Finland.

OEA/CICAD. 2003. Organización de los Estados Americanos. Estudio comparativo del consumo de drogas en países americanos. Pág. 90-96.

Pearson, T. 1996. Alcohol and heart disease. American Heart Assoc. Scientific Statement. *Circulation* 94:3023-3025.

Rand, M.L., H.M. Groves, M.A. Packham, J.F. Mustard & R. L. Kinlough-Rathbone. 1990. Acute administration of ethanol to rabbits inhibits thrombus formation induced by indwelling aortic catheters. *Lab. Invest.*, 63, 742-745.

Renaud, S.C. & J.C. Ruf. 1996. Effects of alcohol on platelet functions. *Clin Chim Acta* 246:77-89.

Reynolds, K., L. Brian Lewis, J.D. Nolen, G.L. Kinney, B. Sathya & J. He. 2003. Alcohol consumption and risk of stroke: a meta – analysis. *JAMA* Vol. 289:579-588.

Rifkind, R., A. Bank, P. Marrks, H. Nossel & E. Rose. 1984. Fundamentals of Hematology. 2nd edition. Year Book Medical Publishers. USA.

Rimm, E.B. 2000. How does alcohol lower heart disease risk? *Br Med J*. 319:1523-1528.

Rubin, R. & M. Rand. 1994. Alcohol and platelet function. *Alcohol Clin Exp Res* 18:105-110.

Siess, W. 1989. Molecular Mechanism of Platelet Activation. *Physiological Reviews* vol. 69 N° 1:58-159.

Stampfer, M.J., G.A. Colditz, W.C. Willet, F.E. Speizer, C.H. Hennekens. 1988. A prospective study of moderate alcohol consumption and the risk of coronary disease and stroke in women. *NEJM* vol. 319; N°5:267-273.

Stein, J.H., J.G. Keevil, D. Wiebe, S. Aeschlimann, J.D. Folts. 1999. Purple grape juice improves endothelial function and reduces the susceptibility of LDL cholesterol to oxidation in patients with coronary artery disease. *Circulation*. 100: 1050–1055.

Wang, Jong-Shyan & Lee-Ju Cheng. 1999. Effect of Strenuous, Acute Exercise on 2-Adrenergic Agonist-Potentiated Platelet Activation. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 19:1559-1565.

Zhang, Q.H., S. Das, S. Siddiqui & A. Myers. 2000. Effects of Acute, Moderate Ethanol Consumption on Human Platelet Aggregation in Platelet Rich Plasma and.

Agradecimiento

Agradecemos mucho a todas las personas que se ofrecieron como voluntarios para las pruebas. Este proyecto se realizó gracias a la cooperación del Laboratorio de Hematología Especial del Complejo Hospitalario Arnulfo Arias Madrid de la Caja de Seguro Social, en especial a los licenciados Luis Ortiz y Pitágoras Ureña.

Recibido noviembre de 2003, aceptado junio de 2004.



**PRIMER REGISTRO DE *PROSIEROLA OBLICUA* EVANS
(HYMENOPTERA: BETHYLIDAE) Y ASPECTOS
BIOECOLÓGICOS DEL PARASITOIDE DE *QUADRUS*
CONTUBERNALIS MABILLE (LEPIDOPTERA: HESPERIIDAE)
EN PANAMÁ**

Alonso Santos Murgas

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Estafeta Universitaria 10860, Panamá,
República de Panamá.

E-mail: santosa@tivoli.si.edu ; asantos@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

Se da a conocer la biología de *Prosierola oblicua* Evans, 1964 (Hymenoptera: Bethylidae) como parasitoide de larvas de *Quadrus contubernalis* Mabille (Lepidoptera: Hesperidae). Se registra por primera vez esta especie para Panamá, en la Provincia del Darién, y se amplía su rango de distribución, previamente conocida sólo para Bolivia y Paraguay.

PALABRAS CLAVES

Bethylidae, *Prosierola oblicua*, Hesperidae, *Quadrus contubernalis*, parasitoide, hospederos, Darién Panamá.

ABSTRACT

This work give know about the biology of *Prosierola oblicua* Evans, 1964 (Hymenoptera: Bethylidae), parasite of *Quadrus contubernalis* Mabille (Lepidoptera: Hesperidae). This specie is register for the first time in Panama and the genus from the Province of Darien; the amplify rank of distribution from Paraguay, Bolivia and Panama.

KEYWORDS

Bethylidae, *Prosierola oblicua*, Hesperitidae, *Quadrus contubernalis*, Parasitoid, Hosts, Darién, Panamá.

INTRODUCCIÓN

Prosierola Kieffer es un género neotropical relativamente pequeño con 10 especies en el mundo, de las cuales nueve están en América y una en Maldivia (USSR) Gordh & Móczár (1990). Hasta 1990 sólo se habían reconocido dos especies para Panamá: *Prosierola lata* (Cameron), 1888 con registro para Bugaba, Provincia de Chiriquí, y también presente en Tobago, Paraguay y Brazil. La otra especie es *P. variegata* (Evans) 1964, con registro para Panamá (Ancon, área del Canal), solo reportada para nuestro país. Es muy poco lo que se conoce sobre la biología y los hospederos de las especies de este género. Según Evans (1964), *Prosierola lata* (Cameron), parasita larvas de mariposas que enrollan hojas, sin especificar las familias de Lepidoptera, ni las plantas en donde se encuentran estas larvas. Muesebeck & Walkley (1951) y Doutt (1973) documentan que *Prosierola bicarinata* Brues parasita dos hospederos: *Cydia caryana* (Fitch) (Lepidoptera: Tortricidae) y *Desmia funeralis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *P. bicarinata* se ha reportado en el sur de Estados Unidos (Texas, Georgia, Florida, California), México y El Salvador. Evans (1964) reporta que *Prosierola cubana* Evans parasita *Jocara ferrifusalis* Hampson (Lepidoptera: Pyralidae), observación realizada en Santiago de las Vega, Cuba.

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer detalles de la biología de *Prosierola oblicua* (Evans) 1964, especie previamente conocida solamente de Bolivia y Paraguay (Evans 1964; Gordh & Móczár 1990), y además de confirmar el registro de esta especie para Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue realizada en la Provincia de Darién, Parque Nacional Darién (PND), Estación Rancho Frío, Cerro Pirre, ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: N 08° 01' 07'' O 77° 43' 57''. Se realizaron tres giras de campo del 21 de

marzo al 4 de abril de 2000; 7-16 noviembre de 2000; 18-24 enero del 2001. Las cuatro últimas giras fueron realizadas del 24-26 marzo 2002; 9-17 abril 2002; 30 julio-8 agosto 2002; 2-18 octubre 2002.

Los adultos de Bethyridae se muestrearon utilizando 80 platos amarillos colocados en el suelo, en senderos y en áreas abiertas, además de utilizarse cinco trampas Malaise (Townes modificadas) y mediante batidos en la vegetación con redes entomológicas en bordes de senderos. Cuatro guarda parques de la Estación Rancho Frío (ANAM) fueron entrenados para darle mantenimiento y recolectar insectos de las trampas Malaise, desde el 18 noviembre de 2000 hasta el 15 de enero del 2001 y del 9 de agosto hasta el 2 de octubre del 2002.

Para conocer sobre la biología de las especies de Bethyridae se procedió a buscar larvas de Lepidoptera que enrollaran las hojas de las plantas, en donde vivían y se alimentaban. Una vez localizadas las larvas, se procedió a recolectar la (s) hoja (s) donde se encontraban las larvas y se colocaron individualmente en bolsas plásticas transparentes (Ziploc) (enumeradas con un código de identificación) y hojas adicionales de la misma planta, eran recogida para seguir alimentando las larvas hasta que puparan. Cabe destacar que sólo se recolectaron las larvas que se estimaron estaban en su último estadio larvario ó que mostraran signos visibles de parasitismo, tales como oscurecimiento del tegumento o huevos sobre el cuerpo de la larva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recolectaron y criaron un total de 15 larvas con un tamaño aproximado de (17.5 mm - 20.0 mm) del hespérico *Quadrus contubernalis* Mabilie (Fig. 1-3), de las cuales sólo una de ellas estaba parasitada. Este parasitoide fue identificado como *Prosierola oblicua* Evans, por medio de la clave taxonómica de Evans (1964). Las larvas del hespérico se encontraron alimentándose y viviendo en las hojas enrolladas de *Piper auritum* Krunth (Piperaceae). Esta planta se encontró en un islote pequeño del Río Perrecénico, que estaba aislado en medio del cauce seco del río. Se observó que esta larva hospedera construye orificios de aereación en la parte superior del dobléz de las hojas (Fig. 4).



Fig. 1. Larvas de *Quadrus contubernalis* Mabille (Lepidoptera: HesperIIDae).



Fig. 2. Pupas de *Quadrus contubernalis* Mabille (Lepidoptera: HesperIIDae).



Fig. 3. Adulto de *Quadrus contubernalis* Mabille (Lepidoptera: HesperIIDae).



Fig. 4. Refugio de la Larva *Quadrus contubernalis* Mabille, y los orificios de aereación en la parte superior de la hoja de *Piper auritum* Krunth (Piperaceae).

La larva parasitada fue recolectada aproximadamente a las 12:30 pm, el 6 de agosto 2002. Se observó que tenía colocados en la parte dorso-lateral (Fig. 5) 10 huevos (diámetro aproximado: 1 mm), casi transparentes, en dos grupos de cinco. En el momento de la colecta, la avispa parasitoide (madre) se encontraba dentro del refugio, donde se localizaba la larva hospedera paralizada, aún viva (Fig. 6). Esta observación corrobora lo señalado por Doutt (1973), que varias especies del género *Prosierola* realizan cuidados maternales a los primeros estadios de desarrollo de su progenie. Doutt (1973), explica que esta conducta les sirve para evitar que otras especies de insectos puedan parasitar a la larva hospedera, ya parasitada (multiparasitismo) ó que parasiten a su progenie (hiperparasitismo).

El segundo día después de la oviposición, los huevos crecieron más del doble del tamaño original (2.2 mm) (Fig. 7). Al tercer día después de la oviposición, los huevos eclosionaron y salieron 10 larvas de aproximadamente 4 mm de largo, que se mantuvieron ubicadas en la parte dorsal de la larva hospedera. Transcurridas aproximadamente cinco horas, las larvas parasitoides ya habían devorado totalmente a la larva hospedera (excepto el exoesqueleto de la cápsula cefálica) (Fig. 8). Al cuarto día después de la oviposición, todas las larvas parasitoides habían pupado (cuya longitud promedio de las pupas, fueron de 7.5 mm) (Fig. 9) dentro del refugio que había construido la larva hospedera en la hoja de *Piper auritum* Kruentz. Las pupas formaron un sólo grupo unidas entre sí por una sustancia sedosa. No se observó la secreción de este material por las partes bucales de las larvas cuando pupaban. Posteriormente, a los 10 días de haber pupado, emergieron los adultos, observándose una proporción sexual de 9 ♀ y 1 ♂. La elevada proporción de hembras, podría indicar infección con la bacteria simbiótica *Wolbachia pipiensis* que se ha reportado presente en muchas avispas parasitoides y es letal para los machos (Stouthamer 1997).

Reconocemos que *P. obliqua* es una especie difícil de localizar y de recolectar, ya que se realizó un intenso muestreo para procurar la captura de los adultos de esta especie y no fue posible recolectarlas con los métodos utilizados (bandejas amarillas y trampas Malaise).



Fig. 5. Larva de *Quadrus contubernalis* Mabille, paralizada con los dos grupos de huevos de *Prosierola oblicua* Evans en la región dorso-lateral del cuerpo.



Fig. 6. *Prosierola oblicua* sobre la larva hospedera, en cuidados maternos.



Fig. 7. Tamaño de los huevos de *Prosierola oblicua* Evans, al segundo día después de la oviposición.



Fig. 8. Larvas de *Prosierola oblicua* Evans, cinco horas después de la eclosión de los huevos.



Fig. 9. Pupas de *Prosierola oblicua*

CONCLUSIÓN

Es importante mencionar que son pocos los trabajos que se han llevado a cabo en el neotrópico sobre la biología de la familia Bethylidae. Nuestras observaciones dan a conocer por primera vez, detalles de la biología de una especie de Bethylidae para Panamá. Hasta la fecha no se conocía el hospedero de *Prosierola oblicua*, como tampoco se tenía registro que la familia Hesperidae (Lepidoptera) sirve como hospedero para la familia Bethylidae. El ciclo completo de desarrollo de esta especie, desde la oviposición de sus huevos en el hospedero hasta que llegue a su etapa adulta, es de 14 días. En cuanto a la distribución de la especie se puede mencionar que se amplía su rango de distribución hasta Panamá; específicamente de Sudamérica (Bolivia y Paraguay) hasta el este de Panamá en la Provincia del Darién, debido a que se han realizado muestreos en el resto del país y no se tiene registro de esta especie.

REFERENCIAS

Cameron, P. 1888. Insecta. Hymenoptera (Families Tenthredinidae, Chrysididae). Subfamily Bethylinae. *Biologia Centrali-Americana*. 1: 448-457.

Doutt, R. L. 1973. Maternal care of immature progeny parasitoids. *Entomological Society of America, Annals*. 66 (2): 486-487, 1 fig.

Evans, H. E. 1964. A. Synopsis of the American Bethylidae (Hymenoptera, Aculeata). *Bulletin Museum of Comparative Zoology Harvard University* 132 (1): 1-222, 144 figs.

Gordh, G. & L. Móczár. 1990. A Catalog of the World Bethylidae (Hymenoptera: Aculeata). *Memoirs of The American Entomological Institute*. 46: 1-364.

Muesebeck, C. F. & L. M. Walkley. 1951. Family Bethylidae. In: Hymenoptera of American North of Mexico: Synoptic Catalog. *Agricultural Monograph 2 United States Department of Agriculture*. 726-734 págs.

Stouthamer, R. 1997. *Wolbachia* induced parthenogenesis. P: 155-175. In: Oxford. O'Neill, S. L., Hoffmann, A. A. & J. H. Werren, Editores. *Influential Passengers: Inherited microorganisms and invertebrate Reproduction*. Oxford University Press.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Prof. Diomedes Quintero A., Universidad de Panamá, por los comentarios y sugerencias para mejorar el manuscrito. Al Prof. Roberto Cambra T., y al Licenciado Roberto Julio Miranda C., Universidad de Panamá, por ayudarme en el campo en recolectar las muestras. A Alfonso Sanabria, Proyecto Co-Manejo, por proveer los fondos para las giras al Parque Nacional Darién. A todo el personal de ANAM, que laboran en El Real de Darién, por la asistencia brindada durante todas las giras de campo. A Alex Espinosa, (CIFLORPAN), por la identificación de las muestras de plantas. A la Dr. Annette Aiello, Smithsonian Tropical Research, por la identificación de las mariposas (Lepidoptera). A Ángel Aguirre, Smithsonian Tropical Research Institute, por localizar las referencias bibliográficas y al Profesor Víctor Martínez Cortés, por fotografiar parte del material presentado en esta publicación.

Recibido enero de 2004, aceptado junio de 2004.

CICLO REPRODUCTIVO DE LA ALMEJA BLANCA *Protothaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) EN PLAYA BIQUE, ARRAIJAN

Irina López¹, Iván Gustavo Luna², Aura Gutiérrez¹, Janel Villalaz³

¹Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

²Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

³Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

RESUMEN

La almeja blanca (*Protothaca asperrima*) es un bivalvo que soporta una explotación intensiva por parte de los habitantes de la playa Bique, Arraiján, Panamá. Con miras a conocer el comportamiento reproductivo de la población de esta especie de bivalvo se llevó a cabo entre 1995 y 1996 en esta playa, un estudio para determinar su crecimiento y reproducción. Para esto cada mes se colectaron de 20 individuos, a los cuales se le midió la biomasa y se les determinó histológicamente su desarrollo gonadal. Los resultados muestran que esta especie presenta un ciclo reproductivo continuo y asincrónico con dos periodos de desove máximo: uno en enero y otro más pequeño en noviembre los cuales estuvieron relacionados estadísticamente con la temperatura y la salinidad. Ambas épocas coinciden con una alta biomasa de los miembros de la población.

PALABRAS CLAVES

Reproducción, histología, biomasa, periodo de desove, Mollusca, Pelecypoda, *Protothaca asperrima*.

ABSTRACT

The white clam (*Protothaca asperrima*) is a bivalve which supports a intensive capture by inhabitants of Bique beach, Arraiján, Panama. In order to understand the reproductive behavior of the population of this species was carried a study on that beach from 1995 to 1996 to determine the reproduction of this specie. Each month

20 individuals were collected, measuring its biomass and gonadal development by histology. Our results show that this species has a continual and asynchronous reproductive cycle with two maximal spawning seasons, the higher one in January and the other one, smaller, in November, related to statistically with temperature and salinity. Both seasons fit with the higher individual biomass. Therefore, it suggests that this species has two spawning period in Bique beach which is not related statistically with temperature and salinity.

KEYWORDS

Ecophysiology, histology, biomass, spawning period, Mollusca, Pelecypoda, *Protothaca asperrima*

INTRODUCCIÓN

La explotación de almejas y otros bivalvos de las playas arenosas y manglares constituyen un recurso de gran importancia económica en algunos países, incluyendo el nuestro. Entre los organismos marinos importantes se encuentra la especie *Protothaca asperrima*, mejor conocida como "almeja blanca", la cual es extraída en grandes cantidades en Panamá.

Existen muy pocos estudios de campo acerca del género *Protothaca* en el trópico y áreas subtropicales. Entre algunos se encuentra el trabajo de Muñoz & Díaz (1984), Telesca & Visuetti (1985), en Playa Bique, Panamá, Palacios et al. (1986a,b,c) con *P. asperrima* en Guanacaste, Costa Rica. El mismo incluye un reconocimiento completo sobre la biología de este bivalvo. Igualmente, tenemos el estudio del ciclo reproductor de *P. grata* en Guanacaste, Costa Rica por Pizarro y Cruz (1987). En Playa Bique se han realizado otros trabajos en años recientes, como los Marciaga & Mencomo (1993), Bárcenas & Guzmán (1996) y Chamizo & Alvarado (1997).

Todos estos estudios han estudiado el ciclo reproductivo en condiciones de laboratorio. Por lo tanto, nuestro trabajo pretende estudiar la dinámica reproductora de *P. asperrima* en condiciones naturales en Panamá. Nuestro interés fue determinar el desarrollo gonadal de esta especie en Playa Bique (Arraiján) durante un año y las implicaciones en su crecimiento. Con este trabajo se pretende establecer las fechas de desove de esta especie con el fin de ayudar a la mejor conservación de este recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los especímenes de *Protothaca asperrima* fueron colectados en Playa Bique, distrito de Arraiján, a unos 22.8 km de distancia de la ciudad de Panamá. Este lugar está ubicado entre 8°53'27" y 9°53'01" latitud Norte y entre 79°39'44" y 79°40' 0" de longitud Oeste (Águila et al., 1978; Muñoz & Díaz 1984). Las colectas se realizaron cada 15 días durante la marea baja desde enero de 1995 a marzo de 1996. En el campo se establecieron dos cuadrantes de 1m² y una profundidad no mayor de 30cm, cuyo sedimento fue tamizado con cernidores de apertura de 10 mm. Los individuos colectados en cada cernida fueron contados y tabulados para obtener medidas de su densidad. 50 individuos como mínimo fueron recogidos para determinar la biomasa y los estudios de histología. A la vez, se tomaron medidas de las temperaturas del aire, sedimento y agua con un termómetro de 0.1°C de precisión. De igual modo se tomó una muestra de agua, la cual fue trasladada al laboratorio para medir su salinidad con un refractómetro (AREA). Los datos de la precipitación se tomaron de la estación de Arraiján, que era la más cercana al lugar. Las almejas fueron transportadas a las instalaciones del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) ubicado en Naos, donde se dejaron aclimatar por cinco días en estanques aireados con agua de mar circulante. De allí se trasladaron al laboratorio de Fisiología de la Universidad de Panamá donde se determinó la biomasa a diez individuos por colecta: Para esto se les extrajo el tejido blando de la concha. Estos se pesaron en una balanza analítica SARTORIUS de 0.01 mg de precisión para obtener su peso fresco. Cada espécimen fue secado en un horno LABLINE modelo IMPERIAL-II a una temperatura de 60°C hasta obtener un peso constante (peso seco). En ese momento, fueron incinerados en una mufla THERMOLINE 1300, a 450°C por una hora hasta obtener sus cenizas.

Para el análisis histológico se tomó el tejido blando de 50 individuos al azar de cada colecta, excepto la de agosto, la cual no se pudo realizar debido al alto grado de sedimentación que existía en ese momento debido a trabajos de dragado en la entrada del Canal de Panamá que provocó una gran mortalidad de almejas. Como el tamaño de los individuos de la muestra no era homogéneo (15 a 30 mm), el cuerpo fue seccionado transversalmente en dos o tres partes según su talla. En caso de ser muy pequeños se dejaban enteros. Cada sección fue fijada individualmente en viales con solución de Davidson por 48 horas.

Pasado este tiempo, las muestras se transfirieron a una solución de alcohol al 50% por 24 horas. Luego, el material fue colocado en alcohol al 70% hasta el momento de su procesamiento histológico. De los individuos seccionados en tres partes se tomó la sección media, mientras que de aquellos cortados en dos una de ellas al azar. Los cortes se realizaron con un espesor de 5 μm y fueron teñidos con la técnica de Hematoxilina-Eosina (Hematoxilina de Harris y Eosina metanólica) (López & Gutiérrez 1998). Las muestras fueron separadas por sexo y se tomaron diez hembras al azar, las cuales se ubicaron en la escala de madurez sexual descrita por Palacios et al.(1986a). Asimismo, se le midió el largo y el ancho de 30 ovocitos al azar.

RESULTADOS

Durante los seis primeros meses (enero a junio), las salinidades fueron altas con un pico en el mes de junio de 47‰, disminuyendo en los meses subsiguientes. Con respecto a las temperaturas, no se observa un patrón definido. Sin embargo, se aprecia una relación directa entre las temperaturas y la salinidad ($r_{12,5\%} = 0.65$; $p = 0.0023$) (Fig. 1).

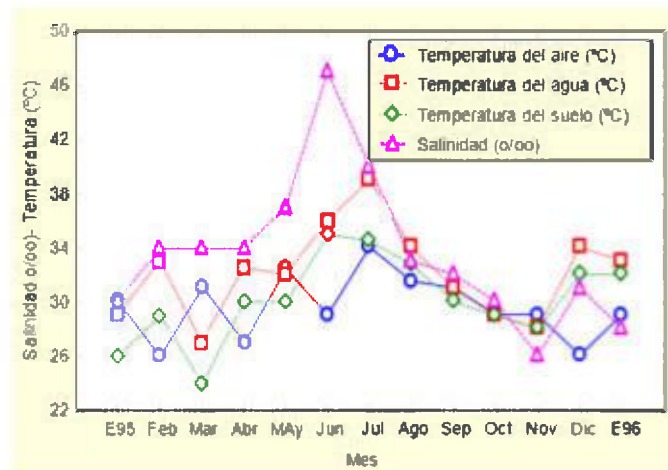


Fig. 1. Distribución mensual de los parámetros físicos en el área de estudio.

El comportamiento de la biomasa de la población a través del periodo de estudio presenta dos periodos de alta productividad, uno en febrero y el otro en agosto, los cuales no fueron significativos con respecto a los demás meses ($F_{14,550} = 1.23$; $P > 0.05$) (Fig. 2).

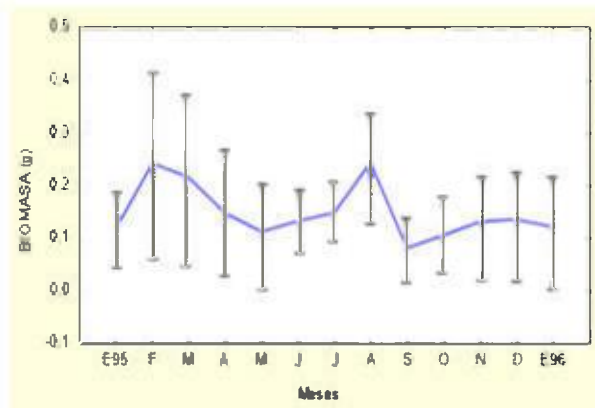


Fig. 2. Comportamiento de la biomasa de la población a través del periodo de estudio ($\bar{x} \pm ds$).

El tamaño máximo de los ovocitos se dio en los meses de febrero y noviembre ($F_{13, 550} = 6.78$; $p > 0.05$) (Fig. 3). Sin embargo, esta especie se encontró en desove continuo con picos altos en los meses de enero, junio y octubre (Fig. 4). De ellos el mayor periodo se registra en enero. La correlación del tamaño de los ovocitos con respecto a la biomasa muestra una relación significativa ($r_{12,5\%} = 0.80$; $p < 0.05$). Asimismo, la correlación de ellos con los parámetros fisicoquímicos sólo es significativa e inversa con la temperatura del aire ($r_{12,5\%} = -0.67$, $p < 0.05$).

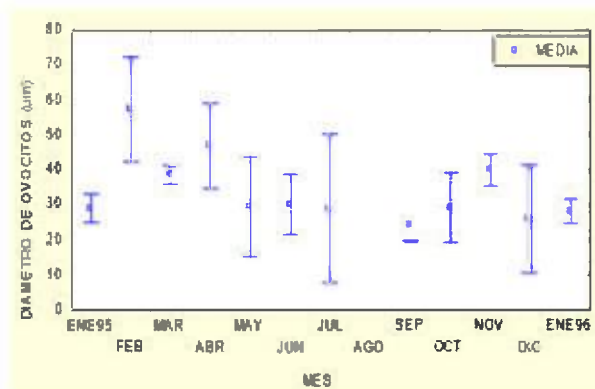


Fig. 3. Variación del diámetro de los ovocitos a lo largo de los meses de estudio ($\bar{x} \pm ds$).

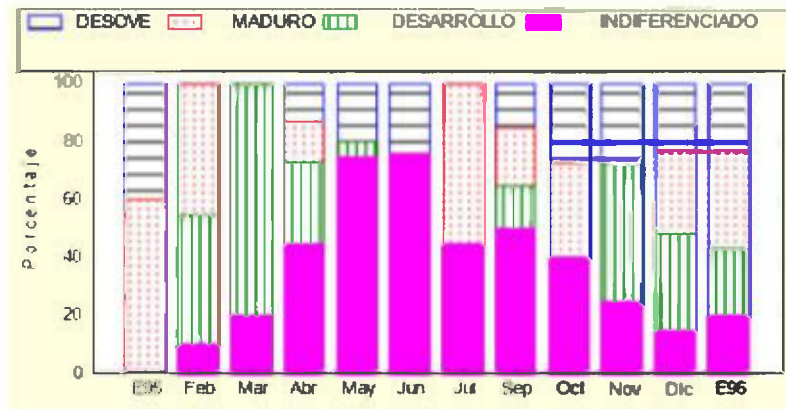


Fig. 4. Variaciones en la maduración de la gónadas de *P. asperima* durante el periodo de estudio.

DISCUSIÓN

De acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Palacios et al. (1986a), las hembras de la población de *P. asperima* en nuestro estudio se encontraban en tres estadios bien definidos del ciclo reproductivo: activación o gametogénesis, maduración y desove. No se observaron hembras con folículos vacíos, como lo hicieron Pizarro & Cruz (1987) en *Protothaca grata*. Probablemente esto se deba a que las hembras de *P. asperima* después de desovar pasan casi inmediatamente a la etapa de activación o porque los folículos vacíos son reabsorbidos rápidamente. En apoyo a la última razón, Chamizo & Alvarado (1997) observaron reabsorción de los folículos en *P. asperima*. Por lo tanto, ésta última puede ser la causa de la ausencia de folículos vacíos.

De acuerdo al análisis histológico, *P. asperima* presentó dos picos de mayor desove durante el año de 1995: enero y octubre-noviembre, siendo el primero el mayor (Fig. 4). Estos resultados coinciden con dos de los picos obtenidos en esta misma especie por Palacios et al. (1986b) en Costa Rica.

El mayor desove en enero se puede explicar debido la época de afloramiento, la cual se caracteriza por presentar condiciones más favorables para el desarrollo larval. Smayda (1963) destaca que durante esta época la población de fitoplancton aumenta drásticamente

debido al incremento de nutrientes producidos por el ascenso de las aguas frías hacia la superficie. Por consiguiente, esto promueve un aumento del alimento para las especies que utilicen esta época para su reproducción. Por lo tanto, ésta puede ser una estrategia empleada por *P. asperrima* para asegurar un alto suministro de alimento para los juveniles como es señalado por Palacios et al. (1986b) en Costa Rica.

El pico de desove del mes de octubre puede deberse a variaciones climáticas que pueden inducir un cambio brusco y favorable para el desove de esta especie. Otra alternativa puede ser que éste represente la época de desove de una segunda subespecie, ya que Domínguez & Tejeira (2001) han encontrado a nivel molecular evidencias que sustenta la presencia de una posible segunda subespecie en playa Bique. Sin embargo, este punto de vista debe ser confirmado con más estudios.

P. asperrima presentó un ciclo reproductivo continuo durante todo el año; como también, fue observado por Muñoz & Díaz (1984), Palacios et al. (1986c), Bárcenas & Guzmán (1996), Chamizo & Alvarado (1997). Esta especie presenta uno de los patrones de reproducción continua observado por Rokop (1979) en *Tindaria cervola*. Cada individuo sigue un ciclo sexual, alternándose entre sí los diferentes estadios para que la población tenga una reproducción continua, lo que le confiere un carácter asincrónico. Así, la frecuencia relativa de cada fase del ciclo sexual sugiere que durante casi todo el año hay individuos en diferentes etapas, pudiendo ocurrir desoves masivos durante ciertas épocas del año (Alarcón & Zamora, 1993); como son los casos de los picos de enero y octubre observados en nuestro estudio.

Con respecto al efecto de los factores fisicoquímicos sobre el ciclo reproductor, se observó una relación inversa no estadísticamente significativa entre el tamaño de los ovocitos y la salinidad ($r_{12,5\%} = -0.18$; $p > 0.05$). De igual modo no hubo diferencias significativas con la temperatura del agua ($r_{12,5\%} = 0.09$; $p > 0.05$). Una relación significativa en ambos parámetros fue observada por Palacios et al. (1986c) en *P. asperrima* en Costa Rica. Ellos afirman que hay una influencia parcial de la temperatura y una estrecha relación entre la salinidad y el desove, el cual coincidió con el descenso de la salinidad del medio. La salinidad aparentemente ejerce influencia sobre el tamaño de los ovocitos, ya que los picos de mayor tamaño coincidieron con sus puntos de descenso en los meses de enero y octubre.

Uno de los factores que se observó que ejerce cierta influencia sobre el desove es la marea, específicamente los periodos de mayor marea baja, las cuales coincidieron con nuestros periodos de muestreos. A pesar de la correlación inversa no significativa ($r_{12,5\%} = -0.5$, $p = 0.05$), el mayor tamaño de los ovocitos se ubicó en los meses con las mareas bajas más negativas del año. Esto podría revelar que los periodos de desove estén sincronizados con el movimiento de la luna. Sin embargo, para poder obtener conclusiones más contundentes se requieren de más estudios.

Según los datos, otro factor físico que aparentemente influye sobre el desove de la almeja blanca, es la precipitación. La correlación obtenida entre este factor con el tamaño de los ovocitos fue alta ($r_{12,5\%} = 0.61$, $p < 0.05$). Sin embargo, se requieren más estudios para confirmar si este es un caso de correlación espuria, debido a que la estación seca de 1996 fue bastante anormal con altas precipitaciones durante esta temporada.

Los resultados de este estudio señalan (Fig. 2) la existencia de dos periodos de alta productividad secundaria de la biomasa de este bivalvo, uno en febrero y el otro en agosto de 1995, en el cual sólo el primero se dio un mes después del periodo de desove de enero. Así que en este mes la mayor biomasa se atribuye al aumento de peso ya que las gónadas se encuentran más desarrolladas durante esta época. Muñoz & Díaz (1984) observaron que en *Protothaca asperrima* existe una relación directa entre el peso del espécimen y sus gónadas. Por otro lado, Marciaga & Mencomo (1993) afirman que el mayor contenido de cenizas fue encontrado en el mes de enero para posteriormente disminuir en los siguientes meses, lo que confirma nuestros resultados.

La biomasa en septiembre presentó un descenso abrupto para aumentar gradualmente hacia noviembre y diciembre (Fig. 2). Esto se puede atribuir a un periodo de sedimentación anormal que ocurrió en el área debido a trabajos de dragados en el área canalera. Como se ve en la Figura 3 esto coincidió con el segundo pico de máximo tamaño de los ovocitos de nuestro estudio. Blake & Sastry (1979) indican que la disminución gradual del peso de los animales después del desove se debe a la reabsorción por fagocitosis de los folículos. Sin embargo, un descenso brusco del peso se debe a la total liberación de los gametos. El primer descenso de la biomasa que se observó en nuestros datos fue gradual; pero la segunda disminución fue abrupta en septiembre.

pudiendo haber sido ocasionado por el estrés ambiental motivado por la gran sedimentación observada durante esta época que produjo una disminución en la población y quizás indujo a una mayor liberación de gametos.

CONCLUSIÓN

De esta manera podemos señalar que la almeja blanca, *Protothaca asperrima*, es una especie de reproducción continua con dos periodos de desove, uno alto en enero y otro pequeño en octubre- noviembre. De acuerdo a los resultados, ellos no se relacionan con algún factor ambiental de los estudiados.

REFERENCIAS

Aguila, Y., I.G. Luna & J. R. Villalaz. 1978. Zonación de una playa arenosa fangosa. Universidad de Panamá. Tesis. 135 pp.

Alarcón, F. & E. Zamora. 1993. Ciclo de maduración sexual y hermafroditismo en las poblaciones de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) en Estero Negro y Estero Vizcaya, Limón, Costa Rica. Pp: 123-130. *En*: Gunther J. & K. Kleijn (Eds) Investigación acuícola en Centroamérica.

Bárcenas, S. & N. Guzmán. 1996. Efecto de la concentración de fitoplancton sobre el crecimiento de la *Protothaca asperrima* en condiciones de laboratorio. Universidad de Panamá, Tesis de Licenciatura, 125 pp..

Blake, N. J. & A. N. Sastry. 1979. Neurosecretory, regulation and reproductive activity in the bay scallops *Argopecten irradians irradians* (Lamarck) 181-190 pp. *En*: Cyclic Phenomena in Marine Plants and Animals. Proc. 13th Eur. Mar. Biol. Symp. , Hartnoll Pergamon Press, New York.

Chamizo, A. & N. Alvarado. 1997. Estudio del crecimiento y reproducción en *Protothaca asperrima* (Sowerby, 1835) durante la temporada lluviosa y seca en Puerto Caimito (Octubre 1994 a Marzo 1995). Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 145 pp.

Domínguez, Y. & C. Tejeira. 2001. Estudio de la variabilidad genética en la especie *Protothaca asperrima* utilizando ADN polimórfico amplificado al azar. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 123 pp.

López, I. E. & A. E. Gutiérrez. 1998. Estudio de la biomasa y reproducción de la almeja blanca *Protothaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) en playa Bique, Arraiján, 1995-1996. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Panamá, 87 pp.

Marciaga, B.B. & J. Mencomo. 1993. Influencia estacional en el crecimiento y reproducción de *Protothaca asperrima*, Sowerby (1835); y sus variaciones en los substratos energéticos. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 87 pp.

Muñoz, E. A. & C. A. Díaz. 1984. Algunos aspectos sobre la maduración sexual y producción de *Protothaca asperrima* en la Bahía de Panamá. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 63 pp.

Palacios, J.A.; J.A. Rodríguez; R.A. Cruz & J. Bolaños. 1986a. Estudio sobre la Biología de *Prothotaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) I. Distribución y Cuantificación. Brenesia. 25-26:1-11.

_____. 1986b. Estudio sobre la Biología de *Prothotaca asperrima* (Pelecypoda:Veneridae) II. Estructura Poblacional. Brenesia. 25-26:13-22.

_____. 1986c. Estudio sobre la Biología de *Prothotaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) III. Ciclo Reproductivo. Brenesia, 25-16: 23-32.

Pizarro, J. F. & R. A. Cruz. 1987. Ciclo Reproductivo de la almeja *Prothotaca grata* (Pelecypoda:Veneridae). Brenesia, 27:23-34.

Rokop, F. J. 1979. Year-round reproduction in the deep-sea bivalve molluscs. Pp 189-198. En: Stancyk S.E. (Ed) Reproductive ecology of marine invertebrates. University of South Carolina Press. Columbia.

Smayda, T. J. 1963. A Quantitative Analysis of the Phytoplankton of the Gulf of Panama. I. Results of the Regional Phytoplankton Surveys during July and November, 1957 and March, 1958. Comisión Interamericana del Atún Tropical. VII(3):193-253 .

Telesca, A.T & I.A. Visuetti. 1985. Estudio del crecimiento y la migración horizontal de *Protothaca asperrima* Sowerby, 1835 (Lamellibranchia: Veneridae) en la Bahía de Bique, Panamá. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología. Universidad de Panamá. 120 pp.

Recibido diciembre de 2003, aceptado agosto de 2004.



EFFECTO DE DIFERENTES DIETAS ARTIFICIALES SOBRE LA MORTALIDAD, NATALIDAD Y ALIMENTACIÓN DE *APHIS CRACCIVORA* (HOMOPTERA: APHIDIDAE)

¹Edwin Domínguez, ^{1,2}Daniel Emmen y ^{1,2}Dora I. Quiros

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

¹Laboratorio de Estudios Biológicos de Plagas Agrícolas (Edificio de Laboratorios Científicos Lab#. 116 -VIP-Universidad de Panamá). Tel.: 264-8441. ²Departamento de Zoología.

E-mail: edwin_dominguez@hotmail.com, demmen@cwpanama.net, dquros@cwpanama.net

RESUMEN

La alimentación y cría de áfidos en dietas líquidas ha sido probada por varios investigadores por más de 50 años. El uso de dietas artificiales ha hecho posible estudios sobre nutrición, comportamiento alimenticio e ingestión en insectos y actualmente es de mucha utilidad en la ejecución de bioensayos en estudios de bioprospección. *Aphis craccivora* es un áfido polífago que ataca muchas leguminosas de importancia económica tales como *Vigna unguiculata* en Panamá. El propósito de este trabajo fue observar la preferencia de *A. craccivora* hacia tres tipos de dietas: mínima, compleja y sacarosa 20% en relación con la mortalidad, alimentación y natalidad así como determinar qué efecto tiene el buffer TRIS sobre la dieta. Tanto las dietas como los insectos fueron colocados en microplatos de 96 pozos, separados por una membrana de parafilm y las observaciones se realizaron durante 72 horas haciendo registros cada 24 horas empezando en el tiempo cero. Los experimentos fueron repetidos varias veces a través del tiempo. Áfidos alimentados con la dieta compleja con y sin TRIS exhibieron la mortalidad más baja y el porcentaje más alto de alimentación y de natalidad promedio. La presencia del buffer TRIS pareció optimizar la calidad de las dietas para *A. craccivora*. Además, los áfidos alimentados con dieta compleja con y sin TRIS presentaron el porcentaje más bajo de mortalidad a las 72 horas. Sin embargo, en las primeras 48 horas de observación, la mortalidad fue menor en los individuos alimentados con dieta mínima. Igualmente, *A. craccivora* alimentados con la dieta compleja con y sin TRIS, mostraron el promedio de natalidad más alto y la natalidad acumulada más alta después de las 24 horas. La presencia de TRIS en las dietas pareció reducir la mortalidad en *Aphis craccivora* y favorecer la alimentación y la natalidad de estos insectos, los cuales requisitos indispensables para obtener buenos controles en los bioensayos de biosprospección.

PALABRAS CLAVES

Dietas artificiales, *Aphis craccivora*, *Vigna unguiculata*, TRIS, microplato, polífago.

ABSTRACT

Feeding and rearing of aphids with liquid diets has been tested by several scientists for more than 50 years. Artificial diets had made possible studies on nutrition, feeding behavior, and ingestion in insects and at the present time is specially useful when running bioassays for bioprospecting purposes. *Aphis craccivora* is a polyphagous aphid which feed on several legumes of economic importance such as *Vigna unguiculata* in Panama. The purpose of this research was to observe the effect of three types of artificial diets: minimal, complex and sucrose 20% on the mortality, feeding and natality of *A. craccivora* as well as to determine the effect of the buffer TRIS on the diets. Diets and insects were placed in 96 wells microplates. Aphids were separated from the diet by a parafilm membrane and data were collected every 24 hours during 72 hours beginning at time 0. Experiments were replicated several times over time. Aphids fed with complex diet with and without TRIS presented the lowest mortality and the highest feeding percentage and natality. Also aphids fed with complex diet with and without TRIS presented the lowest mortality percentage at 72 hours. However, during the first 24 hours the mortality was lower for individuals feeding on minimal diet. Likewise *A. craccivora* fed with the complex diet with and without TRIS showed the highest feeding, mean natality, and accumulated natality after 24 hours. The presence of TRIS in the diets seemed to decrease the mortality of *A. craccivora* and affect positively the feeding and natality of these insects which are important requisites in the development of good artificial bioprospecting bioassays.

KEYWORDS

Artificial diet, *Aphis craccivora*, *Vigna unguiculata*, TRIS, microplate, polyphagous.

INTRODUCCIÓN

La alimentación y cría de áfidos en dietas líquidas artificiales ha sido probada por varios investigadores por más de 50 años (Mittler 1988). El uso de estas dietas ha hecho posible estudiar otros problemas relacionados a la nutrición como, por ejemplo, el comportamiento de alimentación, ingestión y formación de alas (Akey & Beck 1971). El uso de dietas artificiales en insectos fitosuctívoros (áfidos, mosca blanca, etc.), actualmente es de mucha utilidad en la ejecución de bioensayos de bioprospección.

En todos los casos en donde se han llevado estudios de alimentación en áfidos utilizando dietas artificiales, aunque la ingestión de pequeñas cantidades de líquido ha sido detectada por el uso de lentes, isótopos y diferencia de peso, los áfidos generalmente no pueden ser mantenidos vivos por más de una semana, y los registros de crecimiento son mínimos o nulos (Auclair 1965). Según Llewellyn & Leckstein (1978), tal vez no sea posible criar áfidos suministrándoles dietas similares en composición a la savia del floema, debido a factores de gran importancia como la estructura de la membrana, la presión hidrostática y la interrelación de la saliva del áfido y la composición del floema. Sin embargo, Auclair (1967), encontró que el áfido del algodón (*Aphis gossypii* Glover) puede ser criado y mantenido cerca de dos generaciones en dietas artificiales originalmente desarrolladas para el áfido del guisante (*Myzus persicae* Sulzer).

Walters et al. (1990), demostraron que el color, diferentes tipos de buffers, el pH y la resistencia iónica (en un menor grado), pueden tener un efecto significativo sobre la aceptación de una dieta artificial por el áfido de la papa, *Macrosiphum euphorbiae* Thomas.

La primera dieta artificial para criar áfidos fue desarrollada por Mittler & Dadd (1962) y consistía básicamente de una solución estéril de sacarosa, aminoácidos, vitaminas y minerales. Ligeros modificaciones de esta dieta han permitido criar diversas especies de áfidos por algunas generaciones (Walters et al., 1990). Varias especies de áfidos polífagos tales como *M. persicae*, *Acyrtosiphon pisum* (Harris), *M. euphorbiae*, *A. gossypii*, *A. fabae* (Scopoli), *A. rumicis* Linnaeus, *Brevicoryne brassicae* Linnaeus, *Chaetosiphon fragaefolii* Cockerell, *Dysaphis plantaginea* (Passerini), *Macrosiphum avenae* (Fabricius), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch), *R. padi* (Linnaeus), *Neomyzus circumflexus* (Buckton), *Schizaphis graminum* (Rondani), y *Toxoptera aurantii* (Boyer), han sido exitosamente criados en dietas complejas (Singh 1977). Para algunas especies de áfidos tales como *A. craccivora*, existe poca documentación sobre su cría en dieta artificial. Por el momento sabemos que esta especie ha sido criada continuamente en una dieta artificial de sacarosa 15% (Krieger 1971).

El áfido negro de las leguminosas, *Aphis craccivora*, es una de las plagas más importantes del frijol (*Vigna unguiculata* (Linnaeus, Waspers) a nivel mundial y ha causado daños significativos en este cultivo en Latinoamérica (Jackai & Daoust 1986). En Panamá la plaga tiene una importancia no muy significativa en estos momentos, pero puede volverse severa y causar pérdidas en los cultivos de *Vigna* en épocas de sequía (Quiros 1988).

El propósito de este trabajo fue observar el efecto de tres tipos de dietas: mínima, compleja, sacarosa 20% y del Buffer TRIS en relación con la mortalidad, alimentación y natalidad de *A. craccivora* a través del tiempo con el fin de utilizar estos los resultados en estudios de bioprospección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cría de áfidos

Las colonias de *A. craccivora* fueron desarrolladas en el laboratorio a partir de individuos colectados sobre plantas de frijol, *V. unguiculata* cultivadas, a su vez, en el invernadero del Laboratorio de Estudios Biológicos de Plagas Agrícolas de la Universidad de Panamá.

Para evitar la infestación prematura por áfidos, las plantas de *V. unguiculata* utilizadas como hospederos, se cultivaron a partir de semillas en potes con tierra fertilizada dentro de cajas colapsables de aluminio de 24" x 24" x 24" forradas con muselina para evitar la infestación prematura con áfidos y sus enemigos naturales. Plántulas de 16 a 18 días de edad fueron transferidas a otras cajas colapsables de aluminio con temperatura (26°C día y 23°C noche) y fotoperíodo controlados (18hL:6hO), para ser infestadas con *A. craccivora*.

Composición y preparación de las dietas

Para este experimento se utilizaron tres tipos de dietas: a) dieta mínima con 30% de sacarosa (modificación de Walters et al., 1990), b) dieta compleja con una concentración de 30% de sacarosa (modificación de Dadd & Mittler 1966) y c) sacarosa 20%. Una vez ajustado el pH a 7.0, las dietas se filtraron al vacío en un filtro Nalgene® de 0.2 micrómetros. Con el fin de observar el efecto del buffer TRIS sobre la alimentación (o la mortalidad) de los áfidos, las tres dietas fueron

preparadas con y sin el buffer TRIS. Para preparar las dietas con el buffer TRIS (TRIZMA base o Hidroximetil-aminometano), se diluyó 3000 l de TRIS 25mM en 6000 l de cada dieta (dilución 1:3).

Bioensayos

Los bioensayos se desarrollaron con 30 réplicas (ocho pozos u hoyos en microplatos de ELISA de 96 pozos) y dos repeticiones, para cada tipo de dieta artificial. Tanto las dietas como los insectos fueron colocados en microplatos de 96 pozos, separados por una membrana de parafilm. Se colocaron dos individuos del 4^o instar o adultos por pozo. Se midieron tres variables de interés (en porcentaje): mortalidad, alimentación y natalidad. Las observaciones se realizaron durante 72 horas haciendo registros cada 24 horas a partir de las cero (0) horas y los platos se colocaron a una temperatura de 18°C y 59% H.R.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las dietas sobre la mortalidad

La menor mortalidad de áfidos fue observada en la dieta compleja con y sin TRIS, donde sólo 13.82% de los individuos habían muerto al cabo de 72 horas (Fig. 1).

La presencia de TRIS en las dietas mínima y compleja redujo el porcentaje de mortalidad a las 72 horas.

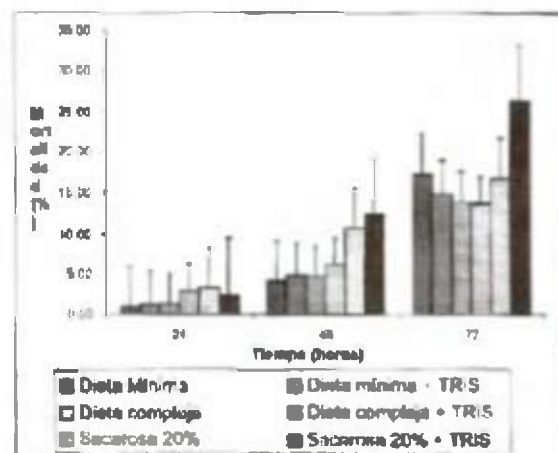


Fig. 1. Efecto de las dietas con y sin TRIS sobre la mortalidad en *A. craccivora*.

Se ha reportado que dietas complejas con 30–35% de sacarosa, mejoran la supervivencia de *A. gossypii* (Auclair 1967) y *A. pisum* (Auclair 1965). Shanks & Finnigan (1969), trabajando con *Chaetosiphon fragaefolii*, encontraron resultados similares utilizando una dieta compleja con sacarosa 20% en comparación con las dietas que contenía de 0–40% de sacarosa. Mittler & Dadd (1962, 1963), encontraron una mejor supervivencia de *M. persicae* en la dieta compleja que en las dietas con sacarosa 18–20%.

Según Mittler & Kleinjan (1970), el pH de la dieta es afectado por incrementos o decrementos en algún constituyente. Las dietas complejas, por su deterioro presumiblemente a través de la oxidación e interacción de algunos de sus constituyentes, necesitan ser renovadas en intervalos de 1–2 días, para obtener el óptimo funcionamiento de los áfidos (Mittler 1972; Mittler 1988). En nuestro estudio encontramos que la presencia de buffer en las dietas mantiene el pH estable, lo cual es más evidente a las 72 horas. Se observó que la dieta mínima sin TRIS causó una mortalidad más alta de áfidos que la sacarosa 20% con TRIS. A pesar de estas diferencias el análisis estadístico para evaluar las diferencias entre las medias de ambos tratamientos no indicó diferencias significativas ($P < 0.05$).

Efecto de las dietas sobre la alimentación

A las 72 horas, el porcentaje más alto de individuos alimentándose fue observado en la dieta compleja sin TRIS. Porcentajes ligeramente menores se observaron en la dieta mínima a las 72 horas. En términos generales podemos observar un descenso en el porcentaje de individuos alimentándose a partir de las 24 horas en todas las dietas (Fig. 2).

Estudios preliminares indican que las dietas complejas proveen una buena fuente de alimentación y promueven la alimentación de diferentes especies de áfidos (Cartier 1968; Krieger 1971; Srivastava & Auclair 1971; Arn & Cleere 1971).

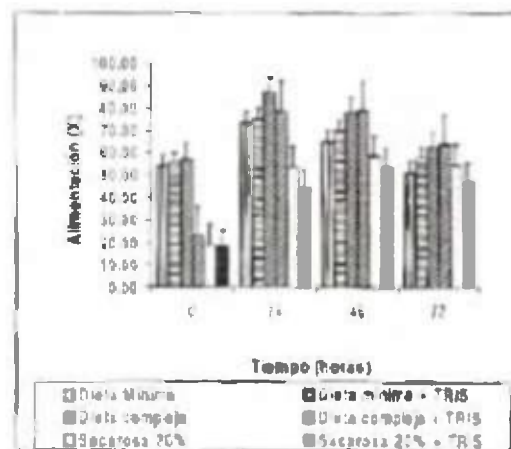


Fig. 2. Efecto de las dietas con y sin TRIS sobre la alimentación en *A. craccivora*.

Efecto de las dietas sobre la natalidad

Las dietas complejas con y sin TRIS presentaron el pico más alto de nacimientos a las 24, 48 y 72 horas. La dieta mínima presentó el segundo mejor pico de nacimientos a las 24 horas aunque también fue decreciendo en los periodos subsiguientes (Fig. 3). Es importante contrastar el efecto de la sacarosa 20% con y sin TRIS donde la natalidad se incrementó a partir de las 24 horas.

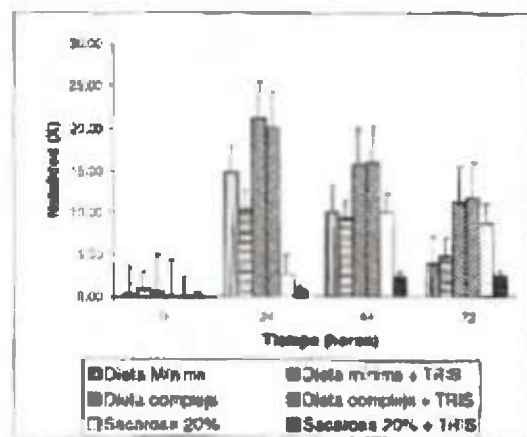


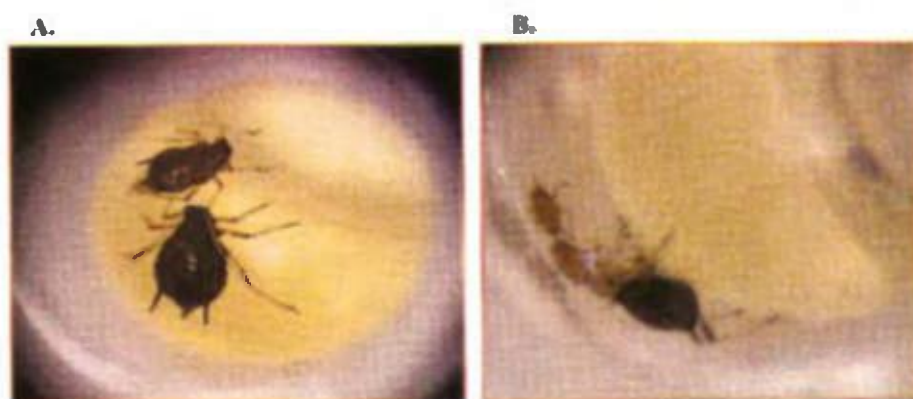
Fig. 3. Efecto de las dietas con y sin TRIS sobre la natalidad diaria en *A. craccivora*.

La natalidad acumulada de *A. craccivora* por hora fue mayor en la dieta compleja sin TRIS a las 72 horas (48.65 individuos), mientras que esta misma dieta con TRIS presentó un promedio ligeramente menor con 47.90 individuos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de las dietas con y sin TRIS sobre la natalidad acumulada promedio en *A. craccivora* en 72 horas.

Dietas Artificiales	Natalidad acumulada en horas			
	0hrs	24hrs	48hrs	72hrs
n = 60				
Dieta Minima	0.43	15.20	25.22	29.17
Dieta minima + TRIS	0.92	11.35	20.63	25.47
Dieta compleja	0.67	21.83	37.43	48.65
Dieta compleja + TRIS	0.08	20.10	36.08	47.90
Sacarosa 20%	0.05	2.57	12.48	21.20
Sacarosa 20% + TRIS	0.05	0.93	3.27	5.73

Estos resultados parecen indicar que las dietas complejas brindan una mejor fuente de recursos nutricionales a los áfidos lo cual incide directamente en la reproducción. Se ha encontrado en otros estudios que la natalidad de *M. persicae* es más alta en la dieta compleja que en dietas de sacarosa 20%. Estos hallazgos indican que la natalidad no sólo depende de la cantidad de líquido ingerido sino de su composición (Mittler & Dadd 1965). Es por ello que en nuestro trabajo encontramos un promedio mas alto de individuos nacidos en las dietas complejas que en aquellas que sólo contenían sacarosa 20% y agua (Fig. 4).



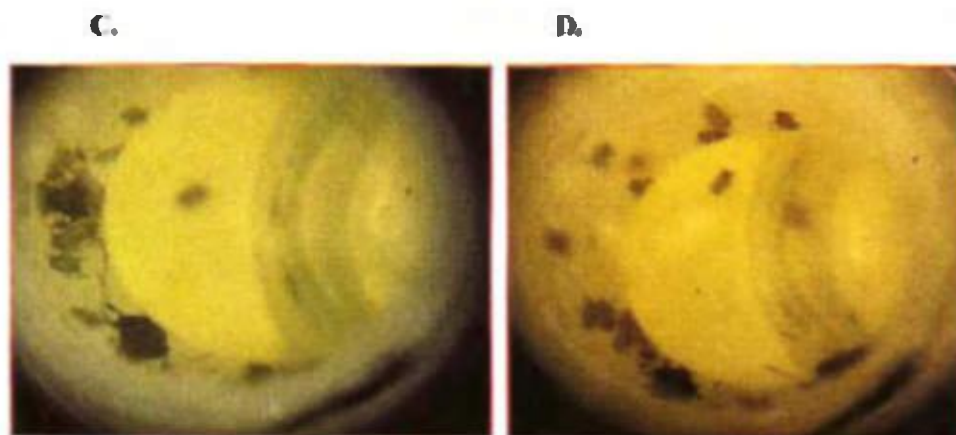


Fig. 4. Secuencia de nacimientos de *A. craccivora* en un pozo de microplato conteniendo dieta compleja sin TRIS. A: 0 horas, B: 24 horas, C: 48 horas, D: 72 horas.

Mittler & Dadd (1962, 1963), encontraron en la dieta compleja, el número más alto de ninfas nacidas por adulto de *M. persicae*, mientras el número mas bajo se observó en la sacarosa 18%. Krieger (1971), encontró que *A. craccivora* se puede criar mejor en dieta con sacarosa al 15%. Auclair (1967), reportó que *A. gossypii* produjo más progenie en dietas complejas con sacarosa 30-35% que aquellas que nacieron en dietas con menor concentración de sacarosa.

Es interesante señalar que Akey & Beck (1971), criaron *A. pisum* en una dieta compleja por varias generaciones y encontraron que la producción de progenie por día fue más alta para la primera generación. Según estos autores, este valor refleja probablemente el efecto derivado de una alimentación a partir de los nutrientes de los progenitores que fueron criados directamente sobre las plantas hospederas. En nuestro estudio, los experimentos se realizaron con áfidos colectados directamente de la planta hospedera y no de aquellos criados en dieta artificial. Estas observaciones pueden explicar por qué se originaron los picos más altos de natalidad en las primeras 24 horas del estudio (Fig. 3).

CONCLUSIONES

Aphis craccivora, alimentados con dietas complejas con y sin TRIS, presentaron la mortalidad más baja. Además un porcentaje alto de individuos se observó alimentándose durante todos los períodos de observación. La natalidad promedio y acumulada fue más alta cuando fueron alimentados con las dietas complejas con y sin TRIS. Estos resultados apoyan la idea de que *A. craccivora* y quizá otras especies de insectos fitosuctívoros, pueden ser alimentados con esta dieta cuando se llevan a cabo estudios de bioprospección. El porcentaje de alimentación y natalidad diaria de *A. craccivora* fue más alta a las 24 horas. El buffer TRIS parece optimizar la calidad de las dietas complejas a través del tiempo y probablemente por esta razón, se observaron mejores resultados de mortalidad, alimentación y natalidad a las 72 horas.

REFERENCIAS

- Akey, D. H. & S.D. Beck. 1971. Continuous rearing of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, on a holidic diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 64: 353-356.
- Am, H. & J.S. Cleere. 1971. A double - label choice - test for the simultaneous determination of diet preference and ingestion by the aphid *Amphorophora agathonica*. *Entomol. Exp. Appl.*, 14: 377-387.
- Auclair, J.L. 1965. Feeding and nutrition of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae), on chemically defined diets of various pH and nutrient levels. *Ann. Ent. Soc. Am.* 58:855-875.
- _____ 1967. Effects of pH and sucrose on rearing the cotton aphid, *Aphis gossypii*, on a germ - free and holidic diet. *J. Insect Physiol.* 13:431-446.
- Cartier, J.J. 1968. Factors of host plant specificity and artificial diets. *Bull. Ent. Soc. Am.* 14:18-21.
- Dadd, R.H. & T. E. Mittler. 1966. Permanent culture of an aphid on a totally synthetic diet. *Experientia*, 22: 832.
- Jackai, L.E.N. & R. A. Daoust. 1986. Insect pests of cowpeas. *Ann. Rev. Entomol.* 31: 95-119.

Krieger, D.L. 1971. Rearing several aphid species on synthetic diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 64: 1176-1177.

Llewellyn, M. & P.M. Leckstein. 1978. A comparison of energy budgets and growth efficiency for *Aphis fabae* Scop. Reared on synthetic diets with aphid reared on broad beans. *Entomol. Exp. Appl.*, 23:66-71.

Mittler, T.E. 1972. Interactions between dietary components. In: J.E. Rodríguez (Editor). *Insect and Mite Nutrition*. Elsevier – North Holland, Amsterdam, pp. 211-223.

_____. 1988. Applications of artificial feeding techniques for aphids. In: A.K. Minks & P. Harrewijn (eds). *Aphids, Their Biology Natural Enemies and Control*. Vol. C. Elsevier, Amsterdam, pp. 145-170.

Mittler, T.E. & R.H. Dadd. 1962. Artificial feeding and rearing of the aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), on a completely defined synthetic diet. *Nature, Lond.* 195-404.

_____. 1963. Studies on the artificial feeding of the aphid *Myzus persicae* (Sulz).-II. Relative survival, development, and larviposition on different diets. *J. Insect. Physiol.* 9:741-757.

_____. 1965. Assimilation by apterous adult *Myzus persicae* maintained on a synthetic diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 58:396-401.

Mittler, T.E. & J.E. Kleinjan. 1970. Effects of artificial diet composition on win – production by the aphid *Myzus persicae*. *J. Insect. Physiol.* 16: 833-850.

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

Shanks, C. H. Jr. & B.F. Finnigan. 1969. Behaviour, survival, and reproduction of the strawberry aphid on holidic diets and host and nonhost plants. *Ann. Ent. Soc. Am.* 62: 1490-2.

Singh, P. 1977. Artificial Diets for Insects Mites, and Spiders. IFI/Plenum Data Company, New York. 594 pp.

Srivastava, P.N. & J.L. Auclair. 1971. Influence of sucrose concentration on diet uptake and performance by the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. Ann. Ent. Soc. Am. 64: 739-743.

Walters, F.S., C.A. Mullin, C. Donaghy & E.M. Reeves. 1990. Interactions of Color, pH, Buffer Salts, and Ionic Strength in a Simple Feeding Bioassay for the Potato Aphid (Homoptera: Aphididae). Ann. Ent. Soc. Am. 83 (2): 246-250.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Proyecto ICBG (Grupo Cooperativo Internacional para Estudios de la Biodiversidad) por el apoyo parcial (suministro de reactivos) para la ejecución de esta investigación. También queremos agradecer a Alex Aguilar, estudiante de tesis de la Licenciatura en Biología y becario en el Laboratorio de Estudios Biológicos de Plagas Agrícolas (LEBIOPA), por la asistencia brindada durante la ejecución de la parte experimental de este trabajo.

Recibido diciembre de 2003, aceptado septiembre de 2004.



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ANISOTROPÍA UNIAxIAL EN LAS CURVAS DE MAGNETIZACIÓN DEL $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$

F. Jiménez¹, G. J. Bracho² y J. C. Garrido²

¹Universidad de Panamá, Escuela de Física. ²Universidad de Panamá, Depto. de Física.

E-mail: fjspang@yahoo.com

RESUMEN

Se estudió la influencia que tiene la anisotropía uniaxial en las curvas de magnetización de la aleación $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ con ayuda de un modelo que toma en cuenta términos de corrección para la función de partición en el límite de alta anisotropía y granos alineados. El resultado es una suma de términos en los cuales el primero de ellos es la función de Brillouin del paramagnetismo cuántico. Se hace una comparación de nuestras curvas de magnetización ajustadas con otras, obtenidas en la literatura, en donde se considera la influencia de la distribución de momentos magnéticos y se observa una concordancia adecuada. Se llega a la conclusión de que la anisotropía uniaxial es lo suficientemente predominante como para considerar únicamente sus efectos sobre el sistema.

PALABRAS CLAVES

Superparamagnetismo, anisotropía uniaxial, ejes fáciles, aleación $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$.

ABSTRACT

We studied the influence of uniaxial anisotropy on the magnetization curves of a $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ alloy by means of a model that is developed taking into account correction terms for the partition function in the limit of large anisotropy and aligned grains. This result is a sum of terms where the first term is the Brillouin function of quantum paramagnetism. Fitting of our curves to the discussed model was compared with another model that considers the influence of the distribution of magnetic moments and we observe a good agreement. We show that the uniaxial anisotropy is enough to consider its effects on the system.

KEYWORDS

Superparamagnetism, uniaxial anisotropy, easy axis, $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ alloy.

INTRODUCCIÓN

La aleación de $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ ha atraído mucho la atención de investigadores en los últimos años debido a sus interesantes propiedades magnéticas (Williams et al., 1993; Miranda et al., 1998). Recientemente se presentó un estudio de la dependencia que tiene la magnetorresistencia de la magnetización utilizando un modelo que toma en cuenta únicamente la distribución de los granos magnéticos. Por otro lado, mediciones de resistividad eléctrica para el $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ (Miranda et al., 1998) mostraron claramente cambios estructurales dependientes del tratamiento térmico al cual fue sometida la aleación. Estos cambios estructurales están muy relacionados con la respuesta magnética de la aleación y por tanto con su magnetización. Lejos de realizar un estudio que tome en cuenta la influencia de la distribución de granos magnéticos, podemos estudiar el sistema considerando únicamente la influencia que tiene la anisotropía uniaxial.

En este trabajo consideramos un sistema lo suficientemente diluido como para ignorar cualquier interacción magnética entre las partículas. En este caso, el sistema se constituye de un gran número de nanopartículas idénticas cada una con un momento magnético μ , volumen V , y con todos sus ejes de simetría alineados unos con otros. El tamaño de estas partículas depende del material en particular y del método de preparación. Usualmente partículas de tamaño del orden de los nanómetros consisten de monodominios.

Para tal sistema de partículas dispersadas en una matriz sólida no-magnética, la anisotropía magnética intrínseca determina las propiedades magnéticas de éstas, dado que en el estado sólido las partículas permanecen prácticamente "*congeladas*" en sus posiciones, mientras que los momentos magnéticos de éstas quedan totalmente libres. Esta anisotropía introduce, principalmente, una barrera de energía que el momento magnético de la partícula debe vencer para cambiar de un estado de equilibrio a otro. Si la barrera de energía es pequeña, las rotaciones del momento magnético están caracterizadas, térmicamente, por un tiempo de relajamiento τ . Si τ es mucho menor que el tiempo necesario para realizar una medición magnética, t_m , el sistema es superparamagnético.

Debido a que, por un lado, el momento magnético fluctúa muchas veces durante el tiempo de medición, por efecto de la energía térmica para pequeñas partículas; y por el otro, los momentos se encuentran en un estado "bloqueado" o estable debido a la barrera de energía de anisotropía para partículas mayores, es conveniente introducir una temperatura crítica llamada temperatura de bloqueo T_B entre estos estados, la cual depende de la constante de anisotropía K , el volumen de la partícula V , y el tiempo de medición t_m . Para un valor típico de $t_m = 100$ s, T_B es $KV/25k_B$.

Las propiedades magnéticas en un sólido son dependientes de la distribución de ejes fáciles (Raikher 1983) del sistema. Si el sistema se enfría en ausencia de un campo magnético, se espera un alineamiento aleatorio de los ejes fáciles de las partículas (Mamiya & Nakatani 1998); en cambio, si el sistema es enfriado en presencia de un campo magnético, se espera un alineamiento preferencial de éstos.

Recientemente, P.J. Cregg y L. Besáis (Cregg & Bessais 1999) demostraron cómo la función de partición de un sistema superparamagnético con anisotropía uniaxial puede ser reducida a una única integral. En general, encuentran fórmulas analíticas de la función de partición que pueden ser utilizadas fácilmente para calcular la magnetización.

En este artículo estudiamos las curvas de magnetización (Miranda et al., 1998) de la aleación $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$, a temperaturas específicas, considerando únicamente la anisotropía uniaxial en el límite cuando $\alpha = KV/k_B T \rightarrow \infty$ (donde K es la constante de anisotropía, V el volumen y k_B es la constante de Boltzmann) y ejes fáciles alineados, en la expresión para la función de partición obtenida en la literatura (Cregg & Bessais 1999) con algunos términos de corrección (Garanin 1996).

CURVAS DE MAGNETIZACIÓN Y MODELO

Las muestras fueron producidas en el Instituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (Torino, Italia), utilizando una técnica llamada *melt spinning* en donde se derrite la muestra a una atmósfera controlada (de argón) y se dispara hacia una rueda giratoria a 2000 rpm. El material derretido se refresca rápidamente y se recoge en forma de cintas delgadas de aproximadamente 20 μm de espesor. Las tasas de calentamiento de este proceso fueron del orden de 10^6 K/s. Estas muestras fueron parte de un estudio realizado por Baibich et al.(1999).

Las curvas de magnetización para el $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$ han sido estudiadas para altos campos en un estudio anterior (Baibich et al., 1999); y se observó que incluso para campos suficientemente elevados, aún las muestras indicaban claramente un comportamiento superparamagnético. En la Fig. 1 se observan las curvas medidas a temperatura ambiente, las cuales muestran un claro comportamiento superparamagnético.

El rango de temperatura de tratamiento térmico para las cuatro muestras (excepto la muestra a) estuvo entre 400 °C y 600 °C. La tasa de calentamiento fue distinta para cada muestra estudiada, y con una temperatura final diferente. De esta manera, las mediciones de resistividad (Miranda et al., 1998) muestran claramente cambios estructurales que, en primera instancia, son dependientes de la tasa de calentamiento. Las muestras se mantuvieron a la temperatura final correspondiente por espacio de una hora y luego se enfriaron en ausencia del campo magnético.

Al comparar la muestra sin tratamiento tomada como referencia (muestra a) con las demás, se observa que el tratamiento influye sobre la respuesta magnética del sistema. Por otro lado, las curvas d y e exhiben una tendencia a la saturación, producto de una aparente y pequeña contribución ferromagnética que puede tener como causa principal la tasa de calentamiento, más que una respuesta a las altas temperaturas.

Debido a la respuesta magnética observada en estas curvas, podemos asumir un alineamiento de los ejes fáciles de las partículas con el campo magnético.

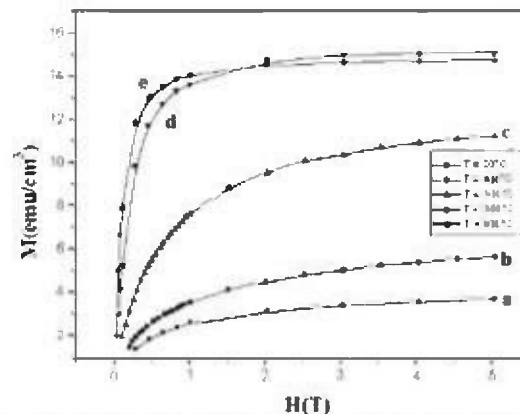


Fig. 1. Magnetización de las diferentes muestras con su correspondiente tasa de calentamiento ϕ y temperatura final T . Las tasas de calentamiento fueron (desde la muestra b hasta la e): $\phi = 7,9^\circ\text{C/min}$; $5,4^\circ\text{C/min}$; $5,7^\circ\text{C/min}$; $2,5^\circ\text{C/min}$, respectivamente (Baibich et al., 1999).

Para un sistema superparamagnético con anisotropía uniaxial la función de partición puede ser expresada por una única integral de la forma (Cregg & Bessais 1999).

$$Z = \int_0^{\pi/2} \exp(-\alpha \sin^2 \vartheta) \cosh(\beta \cos \vartheta \cos \psi) I_0(\beta \sin \vartheta \sin \psi) \sin \vartheta d\vartheta \quad (1)$$

donde $\beta = \mu H/k_B T$, ϑ y ψ son los ángulos que forman el momento magnético y el campo magnético con el eje de magnetización fácil mostrado en la Fig. 2.

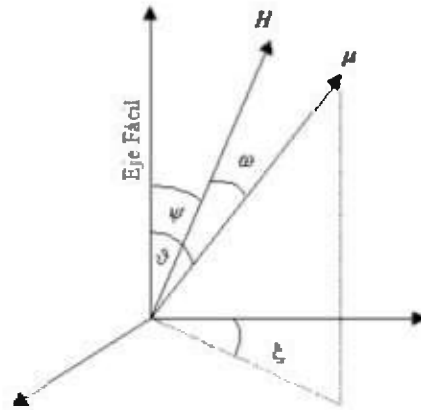


Fig. 2. Sistema coordenado utilizado para representar el campo H y el momento μ de la partícula magnética (Chantrell et al., 1985).

Para ejes fáciles alineados con el campo tenemos que $\psi = 0$, $\cos \psi = 1$ y $\sin \psi = 0$, y la función de partición queda expresada por

$$Z = \int_0^{\pi/2} \exp(-\alpha \sin^2 \vartheta) \cosh(\beta \cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta \quad (2)$$

En general, la magnetización puede ser calculada a partir del valor esperado del $\cos \omega$, $\langle \cos \omega \rangle$, donde, en la Fig. 2, ω representa el ángulo entre el momento de cada partícula μ y el campo H (Cregg & Bessais 1999), es decir

$$\begin{aligned} M(\beta, \alpha, \varphi) &= M_s \langle \cos \omega \rangle \\ &= \frac{M_s}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta} \end{aligned} \quad (3)$$

En el límite cuando $\alpha \rightarrow \infty$ y $\psi = 0$, la magnetización puede ser expresada hasta primer orden por (Cregg & Bessais 1999).

$$\frac{M(\beta, \alpha \rightarrow \infty)}{M_s} = \tanh \beta, \quad (4)$$

lo cual está de acuerdo con la función de Brillouin para el paramagnetismo cuántico (Chantrell et al., 1985). Esto concuerda claramente con el hecho de que al considerar alta anisotropía los momentos magnéticos tienden a permanecer alineados con sus ejes fáciles, y se espera un comportamiento discreto de los momentos magnéticos.

Por otro lado, se pueden añadir términos de corrección en la Ec. (4) considerando la función de partición como dos contribuciones debido a los pozos de potencial en la barrera de energía (Garanin 1996) esto es

$$\frac{M}{M_s} = \tanh \beta - \frac{1}{2\alpha} \left(\frac{\beta}{\cosh^2 \beta} + \tanh \beta \right) + \frac{\beta}{(2\alpha)^2}. \quad (5)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de ajustar las curvas de magnetización, la Ec. (5) se implementó en un programa elaborado en FORTRAN 90 utilizando el método para modelos no-lineales de Levenberg – Marquadt (Teukolsky et al., 1997).

Los parámetros de ajuste para las curvas fueron α dado por la relación adimensional $KV/k_B T$, la magnetización de saturación M_s , el momento magnético promedio $\langle \mu \rangle$ y el número de partículas magnéticas N .

En la Fig. 3 se muestra cómo el modelo utilizado se ajusta satisfactoriamente, principalmente para campos superiores.

En la Fig. 4 podemos observar como el momento magnético promedio $\langle \mu \rangle$ disminuye en comparación a la muestra a. Es de esperarse un aumento en $\langle \mu \rangle$, pero en cambio se presenta lo contrario. Esto se puede deber a la rapidez con que se llegó a la temperatura final de la muestra. La formación de mayores dominios se ve inhibida por la rapidez de la tasa de calentamiento.

Se observa que se requiere un mayor campo para saturar la muestra a esta temperatura debido a la fuerte energía de anisotropía. La barrera de energía de anisotropía causa el fenómeno de bloqueo en los momentos, inhibiendo la saturación.

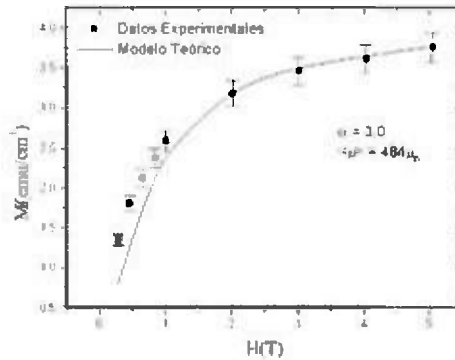


Fig. 3. Magnetización M versus el campo H para la muestra a. Ajustada según la relación (5). Las barras de error se calcularon a $\pm 5\%$.

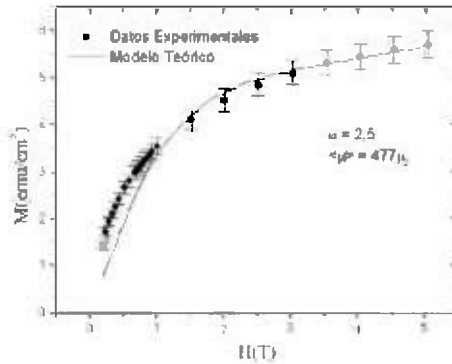


Fig. 4. Magnetización M versus el campo H para la muestra b. Ajustada según la relación (5). Las barras de error se calcularon a $\pm 5\%$.

En la Fig. 5 vemos un ligero aumento en $\langle \mu \rangle$ lo que sugiere una mayor respuesta magnética del sistema. Se puede asumir que los ejes fáciles de las partículas tienden a alinearse con el campo provocando un aumento en $\langle \mu \rangle$. Al igual vemos un aumento en α lo que se puede explicar observando que los ejes fáciles deben tender a alinearse con el campo para que se dé el aumento correspondiente en $\langle \mu \rangle$. La

anisotropía aumenta, pero el alineamiento de los ejes fáciles de las partículas contribuye, efectivamente, a que aumente el momento magnético.

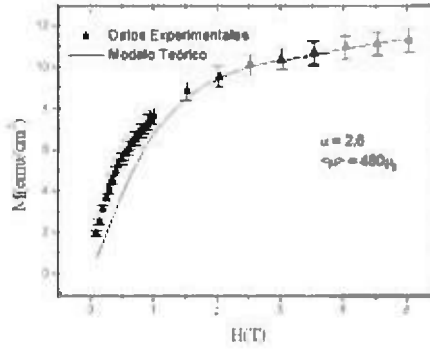


Fig. 5. Magnetización M versus el campo H para la muestra c. Ajustada según la relación (5). Las barras de error se calcularon a $\pm 5\%$.

Las curvas d y e en las Figs. 6 y 7 respectivamente, muestran un aumento significativo en su respuesta magnética que se revela en un incremento representativo tanto en el valor de $\langle \mu \rangle$ como en α .

Es interesante notar la tendencia de estas curvas a la saturación. Este comportamiento se justifica si se considera, por un lado, un aumento de los dominios y, por el otro, un alineamiento parcial de los ejes fáciles con el campo, lo que motiva que el sistema tenga cada vez una mayor respuesta magnética.

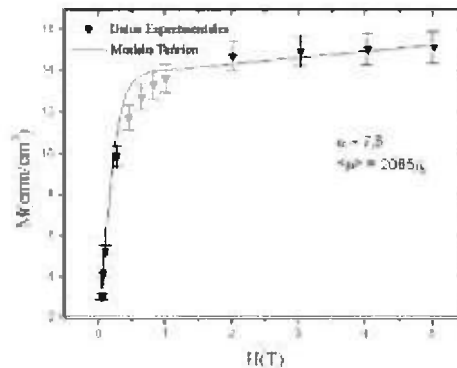


Fig. 6. Magnetización M versus el campo H para la muestra d. Ajustada según la relación (5). Las barras de error se calcularon a $\pm 5\%$.

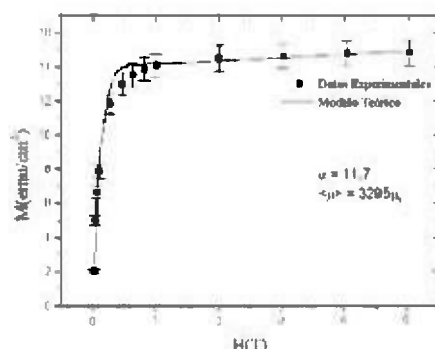


Fig. 7. Magnetización M versus el campo H para la muestra e. Ajustada según la relación (5). Las barras de error se calcularon a $\pm 5\%$.

Es de esperarse que un aumento en el parámetro α cause el fenómeno de bloqueo de los momentos magnéticos de las partículas y que a la vez inhiba la saturación de las curvas, pero se observa todo lo contrario ya que al estar los ejes fáciles de las partículas alineados con el campo la respuesta magnética aumenta. En este caso la anisotropía favorece la saturación de las curvas.

Notamos que para las tres primeras curvas el modelo no se ajusta dentro del 5% de error con los datos experimentales a bajos campos. Se observa un ligero corrimiento horizontal en el ajuste guardando la misma forma de crecimiento. Esto puede deberse a efectos magnéticos de segundo orden que desaparecen a campos intensos.

Por otro lado, se aprecia que el modelo utilizado describe muy bien el comportamiento de estas curvas, lo que indica que la suposición de ejes fáciles alineados con el campo está de acuerdo con el aumento de anisotropía y los aumentos en la respuesta magnética del sistema.

En el Cuadro No. 1 comparamos nuestros resultados con los obtenidos de un estudio de la dependencia de la magneto-resistencia con la magnetización (Miranda et al., 1998) que contiene valores de $\langle \mu \rangle$ y de M_s para las muestras a, b y c utilizando un modelo específico (Ferrari et al., 1997). Estos resultados se presentan a la izquierda de los obtenidos en nuestra investigación colocados a la derecha. Se observa una concordancia relativamente buena entre ambos bajo la consideración de temperaturas más bajas de cerca de 500 °C.

Cuadro No. 1. Parámetros calculados mediante la Ec. (5). $\langle \mu \rangle$ es el momento magnético promedio, M_s es la magnetización de saturación y α es un parámetro adimensional dado por $KV/k_B T$.

Muestras	α	$\langle \mu \rangle (\mu_B)$		$M_s (\text{emu/cm}^3)$		$N (10^{17}/\text{cm}^3)$	
a	3,0	475	484	3,93	3,81	8,90	8,50
b	2,5	406	477	4,39	5,56	11,60	12,58
c	2,6	479	480	14,09	11,21	31,70	25,20
d	7,5	2992	2085	16,14	14,68	6,20	7,60
e	11,7	8760	3295	14,50	14,54	1,80	4,76

A fin de comprender los cambios ocurridos en las muestras estudiadas es conveniente analizar los parámetros presentados en el Cuadro No. 1. Se observa en la muestra **b** un aumento en el número de granos magnéticos, en comparación a la muestra de referencia **a**, que se debe al tratamiento térmico. Una ligera disminución en el momento magnético medio se debe a la tasa de calentamiento que actúa inhibiendo la formación de dominios mayores. Para la muestra **c** se observa un aumento representativo en el número de granos magnéticos, pero un momento magnético casi constante. Una apreciable diferencia de temperaturas entre las muestras **b** y **c** no altera en gran manera el momento magnético puesto que en estas dos etapas es más predominante la tasa de calentamiento. Al analizar la muestra **d** vemos un considerable aumento en el momento magnético y una correspondiente disminución en el número de granos. Concluimos que en esta etapa los dominios magnéticos aumentan de tamaño y de esta forma la respuesta magnética del sistema se hace mayor. Para la muestra **e**, una disminución en el número de granos magnéticos y un correspondiente aumento del momento magnético medio sugiere que se alcanza el límite de todos los átomos de cobalto que contribuyen a la magnetización.

Algunos autores (Ferrari et al., 1997) han presentado modelos de comportamiento del momento magnético promedio y de la magnetización versus la temperatura, pero que incluyen la distribución de tamaños y que podemos comparar con el utilizado por nosotros tal como lo hacemos en la Fig. 8. Se observa que en un amplio rango de temperatura más allá de los 500 °C existe una similitud bastante aceptable, lo que podría sugerir la influencia en los ajustes debido a los tamaños.

Para ilustrar mejor esta información, vemos en la Fig. 9 el comportamiento de la magnetización de saturación en función de la temperatura de tratamiento térmico para ambos modelos. En ella se indica un claro aumento de la respuesta magnética en función del tratamiento térmico a que fueron sometidas las muestras.

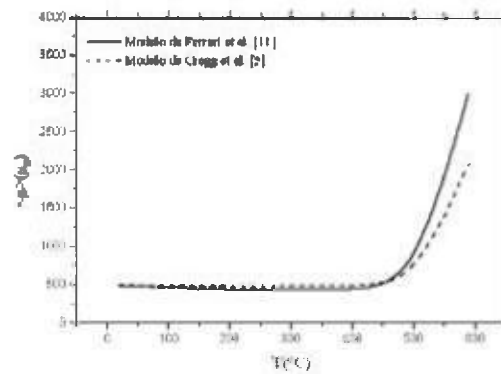


Fig. 8. Comparación del comportamiento del momento magnético medio en función de la temperatura de tratamiento térmico.

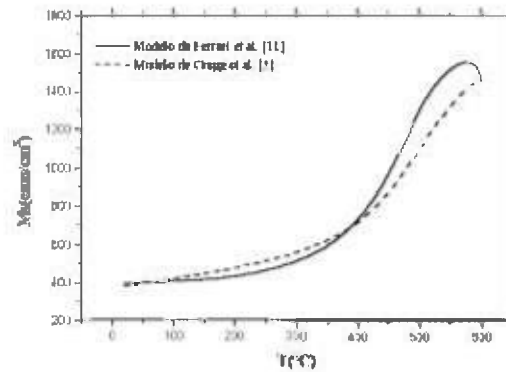


Fig. 9. Comparación del comportamiento de la magnetización de saturación en función de la temperatura de tratamiento térmico.

CONCLUSIÓN

El análisis descrito en este artículo demuestra claramente que podemos asumir en el estudio de las curvas de magnetización del $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$, en el rango de temperaturas presentado, una gran influencia de la anisotropía uniaxial en la respuesta magnética del sistema. Esto sugiere que la corrección (5) para el límite cuando $\alpha \rightarrow \infty$ en la expresión para la función de partición descrita en la Ec. (2) es aceptable sólo para altos campos. Está claro que para este tipo de partículas dispersadas en una matriz sólida no-magnética, la anisotropía uniaxial es dominante, y determina en gran manera las propiedades magnéticas de la aleación.

Vemos que tanto la magnetización de saturación M_s como el momento magnético $\langle \mu \rangle$ aumentan con la temperatura de tratamiento térmico.

Por otro lado, la comparación de los resultados experimentales con otros modelos, indica una satisfactoria concordancia, a pesar de que ambos modelos describan el carácter superparamagnético de un sistema, particularmente el del $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{90}$, considerando mecanismos de interacción diferentes.

El pequeño *corrimiento* que aparece como característica predominante en todas las curvas de magnetización a bajos campos descrito por el modelo de Cregg et al.(1999) puede ser debido a la presencia de algunos efectos competitivos de naturaleza magnética que son más significativos en esta región que a altos campos; estos efectos podrían ser tanto la anisotropía de forma, como la de tamaño.

REFERENCIAS

Baibich, M. N., M. G. M. Miranda, G. J. Bracho, A. B. Antunes, H. Rakoto, N. Negre, M. Goiran, J. M. Broto, E. F. Ferrari, F. C. S. da Silva & M. Knobel. 1999. Magneto-transport in granular ribbons at high magnetic fields, *J. Magn. Magn. Mater.*, 196, 45-47.

Cregg, P. J. & L. Bessais. 1999. A single integral expression for the magnetisation of a textured superparamagnetic system, *J. Magn. Magn. Mater.*, 203, 265-267.

_____. 1999. Series expansions for the magnetisation of a solid superparamagnetic system of non-interacting particles with anisotropy, *Magn. Magn. Mater.*, 202, 554-564.

Cullity, B. D. 1972. *Introduction to Magnetic Materials*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts.

Chantrell, R. W., N. Y. Ayoub & J. Popplewell. 1985. The low field susceptibility of a textured superparamagnetic system, *J. Magn. Magn. Mater.*, 53, 199-207.

Ferrari, E. F., F. C. S. da Silva & M. Knobel. 1997. Influence of the distribution of magnetic moments on the magnetisation and magnetoresistance in granular alloys, *Phys. Rev. B*, 56 (10), 6086-6091.

Garanin, D. A. 1996. Integral relaxation time of single-domain ferromagnetic particle, *Phys. Rev. E*, 54 (4), 3250-3256.

Mamiya, H. & I. Nakatani. 1998. Magnetization curve for iron-nitride fine particle system with random anisotropy, *IEEE Trans. Magn.*, 34 (4), 1126-1128.

Miranda, M. G. M., G. J. Bracho, A. B. Antunes, M. N. Baibich, E. F. Ferrari, F. C. S. da Silva & M. Knobel. 1998. Transport and structure of Co₁₀Cu₉₀ heterogeneous ribbons during annealing, *J. Magn. Magn. Mater.*, 185, 331-338.

Raikher, Yu. L. 1983. The Magnetization curve of a textured ferrofluid, *J. Magn. Magn. Mater.*, 39, 11-13.

Teukolsky, S. A., W. T. Vetterling & B. P. Flannery. 1997. *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press.

Williams, H. D., K. O'Grady, M. El Hilo & R. W. Chantrell. 1993. Superparamagnetism in fine particle dispersions, *J. Magn. Magn. Mater.*, 122, 129-133.

Recibido julio de 2004, aceptado diciembre de 2004.



ROTENOIDES BIOACTIVOS DE LA RAÍZ DE *Lonchocarpus pentaphyllus*

Marcelino Gutiérrez G¹, Haydée Watson-Samudio¹, Eligio Vega A¹,
Luis Cubilla R².

¹Departamento de Química Orgánica, Universidad de Panamá.

²Laboratorio de Bioquímica Tropical, VIP Universidad de Panamá

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

RESUMEN

Mediante el fraccionamiento bio-dirigido del extracto hexánico de las raíces del *Lonchocarpus pentaphyllus* se aislaron cuatro rotenoides conocidos: milletona (1), milletosina (2), deguelina (3) y tephrosina (4). Estos compuestos fueron aislados por medio de técnicas cromatográficas e identificados por espectrometría de RMN mono y bidimensional, MS, IR, UV. Se reporta su actividad biológica frente a *Aedes aegypti* y se discuten las variaciones observadas desde el punto de vista estructura-actividad en el ensayo de *A. salina*.

PALABRAS CLAVES

Lonchocarpus pentaphyllus, Leguminosae, rotenoides, *Aedes aegypti*, *A. salina*.

ABSTRACT

The bioassay-guided fractionation of the n-hexane extracts from the roots of *Lonchocarpus pentaphyllus* led to the isolation of four known rotenoids: milletonone (1), milletosine (2), degueline (3) and tephrosine (4). These compounds were isolated using chromatographic techniques and their chemical structures were assigned by 1D, 2D-NMR spectrometry and EIMS, IR, UV spectra. Their activity against *Aedes aegypti* is reported and its structure-activity relationship in the *A. salina* bioassay is discussed.

KEYWORDS

Lonchocarpus pentaplyllus, Leguminosae, rotenoids, *Aedes aegypti*, *A. salina*.

INTRODUCCIÓN

Existen cerca de 175 especies de *Lonchocarpus* en Centro y Sur América, Indias Orientales, África y Australia (Woodson, R.F. & R.W. Schery 1965); en Panamá se encuentran 18 especies distribuidas a lo largo del territorio nacional (Correa et al., 2004). Algunas especies de este género han sido utilizadas dentro de la medicina tradicional para tratar diversas enfermedades, tales como la epilepsia, artritis y desordenes intestinales (García 1974, Chabra & Uiso 1984, Neuwinger 1996). Las especies de *Lonchocarpus* son también utilizadas por los indígenas de regiones tropicales para fabricar el barbasco, el cual es usado por sus propiedades ictiotóxicas e insecticida (Moretti & Grenand 1982, Prance & Krukoff 1972, Bernal & Correa 1992). Estas propiedades se deben principalmente a la presencia de rotenoides en estas plantas (Yamatomo 1970, Donnelly & Boland 1995, Kole et al., 1992, Birch et al., 1985, Alkofahi et al., 1989).

En este artículo se reporta el aislamiento, caracterización y la evaluación de la actividad biológica; contra las larvas del mosquito *Aedes aegypti* y el crustáceo marino *Artemia salina*, de 4 rotenoides aislados de la raíz de *Lonchocarpus pentaplyllus* (Willd) H.B.K. (Leguminosae), el cual fue colectado en la ciudad de Panamá. Estos rotenoides, conocidos, son reportados por primera vez como constituyentes en esta planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para los espectros ^1H -NMR y ^{13}C -NMR se utilizaron los espectrómetros Bruker Avance 400 MHz DRX y Bruker WP-200-SY (200 MHz); las muestras se disolvieron en CDCl_3 con señales 7.26 ppm para ^1H y 77.0 ppm para ^{13}C . Los espectros IR, se obtuvieron en un Bomem FTMB-100 sobre película de NaCl. Los espectros de masas se midieron en un aparato Shimadzu QP-5000, con ionización electrónica de 70 ev. Los espectros ultravioleta, se realizaron en un espectrofotómetro UV/VIS Metrolab 1700. Los poderes rotatorios fueron determinados en un polarímetro JASCO DIP-370 digital, los

puntos de fusión en un aparato de punto de fusión n Electrothermal 9100.

Material vegetal

La planta usada en este trabajo fue colectada en la localidad de Chepo, Panamá y fue identificada por comparación con especímenes depositados (PMA 9311) en el herbario de la Universidad de Panamá por el profesor Aristides Martínez.

EXTRACCIÓN Y AISLAMIENTO

2,294 kg de la raíz seca y pulverizada de *Lonchocarpus pentaphyllus* fueron extraídos por maceración durante 24 horas a temperatura ambiente, por gradiente de polaridad usando n-hexano, acetato de etilo y metanol, para dar 17,6 g; 44,6 g y 50,3 g de cada extracto respectivamente. Cada extracto fue sometido a pruebas preliminares de bioactividad con *Artemia salina* y *Aedes aegypti*. El extracto hexánico fue seleccionado por mostrar la mayor actividad en ambos ensayos y se fraccionó por cromatografía en columna sobre gel de sílice 7 GF (J T Baker) eluyendo con mezclas de benceno y acetato de etilo de polaridad creciente obteniendo 102 fracciones de 5 cm³, cada una. Las fracciones 18-48 se mezclaron para obtener el compuesto 1; las fracciones 78-90 se mezclaron para obtener el compuesto 2; de las fracciones 96-99 se obtuvo el componente 3 y de las fracciones 100 y 101, se obtuvo el componente 4. La purificación final de estos compuestos se hizo mediante cromatografía de capa delgada preparativa.

Todos los compuestos aislados fueron evaluados por medio de ensayos de bioactividad contra *A. salina* y *A. aegypti* según los métodos descritos en la literatura. (Meyer et al., 1982, Organización Panamericana de la Salud 1991).

Copias de los espectros originales pueden obtenerse por la correspondencia del autor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extractos crudos la raíz, el tallo y las hojas de *L. pentaphyllus* (en total 9) fueron sometidos a pruebas de actividad biológica contra larvas de *Artemia salina* (Cuadro 1) y el mosquito *Aedes aegypti*.

Los extractos crudos resultaron activos contra *A. salina* observándose un marcado aumento de la actividad en los extractos del tallo y la raíz. De estos, el extracto hexánico de la raíz resultó con el valor de LC_{50} más bajo ($0.10 \mu\text{g}/\text{cm}^3$); y por consiguiente, con la mayor actividad biológica.

Para los ensayo con las larvas de *A. aegypti*, basados en experiencias previas, se efectuaron a una concentración de $1.92 \mu\text{g}/\text{cm}^3$; los mismos no se comportaron como larvicidas, sin embargo, mostraron un efecto leve inhibiendo la emergencia de mosquitos adultos y retardando el ciclo de vida de los mismos en el cuarto estadio larvario.

Cuadro 1. Ensayos iniciales de los extractos crudos contra *A. salina*.

Parte de la planta	Extracto	$LC_{50} (\mu\text{g}/\text{cm}^3)$
Hojas	Hexano	411.21
Hojas	Acetato de etilo	63.69
Hojas	Metanol	128.75
Tallo	Hexano	0.75
Tallo	Acetato de etilo	12.84
Tallo	Metanol	50.40
Raíz	Hexano	0.10
Raíz	Acetato de etilo	0.31
Raíz	Metanol	48.54

El extracto hexánico de la raíz, por mostrar relativamente mejor actividad, en los bioensayos preliminares, fue fraccionado por cromatografía en columna. Los compuestos obtenidos fueron purificados por cromatografía en columna seguida por sucesivas cromatografías en capa delgada preparativa, obteniéndose los rotenoides: milletona (1), milletosina (2), deguelina (3) y tephrosina (4) cuyas estructuras fueron determinadas por técnicas espectroscópicas que incluían UV, IR, MS, así como espectros RMN monodimensionales y bidimensionales homonucleares y heteronucleares. La identificación fue confirmada por comparación de las propiedades físicas obtenidas experimentalmente con datos correspondientes reportados en la literatura (Luyengi et al., 1994, Konoshima et al., 1993, Andrei et al., 1997, Yenesew et al., 1998).

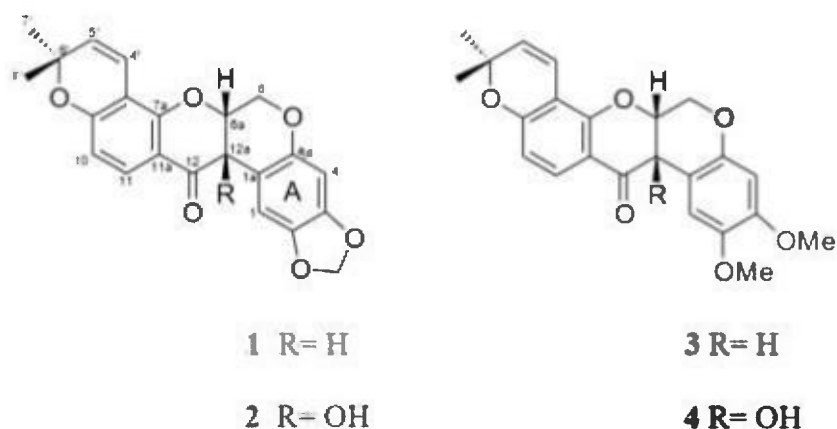


Fig. 1. Rotenoides aislados del *Lonchocarpus pentaphyllus*.

Estos rotenoides fueron sometidos a los ensayos de citotoxicidad contra *A. salina* donde los compuestos 4, 1 y 3 exhibieron las actividades, relativamente, más sobresalientes (Cuadro 2) respectivamente. La tephrosina, que resultó con la mayor actividad citotóxica en este ensayo, también ha sido reportada con una notable actividad biológica en ensayos anticáncer (Konoshima et al., 1993).

En la evaluación del efecto de estos rotenoides contra las larvas de *A. aegypti*, los resultados fueron similares a los observados en los extractos crudos, no obstante, la milletosina resultó más activa que los otros rotenoides mostrando el mayor porcentaje de inhibición de emergencia y aumentando casi al doble el ciclo de vida de las larvas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Pruebas de citotoxicidad de los rotenoides frente a *Artemia salina*.

Compuesto	LC ₅₀ µg/cm ³
1	6,6628
2	105,5819
3	12,5244
4	0,0185

Cuadro 3. Pruebas de bioactividad de los rotenoides a 1,92 µg/cm³ frente a larvas (L -2/3) de *Aedes aegypti*.

Compuesto	N	CV (Días)	AE	IE (%)
1	50	13	26	48
2	50	19	17	66
3	50	15	24	52
4	50	15	25	50
Control	50	10	26	48

Los compuestos aislados en este trabajo se diferencian estructuralmente entre si por el grupo hidroxilo en el carbono 12a o bien por la presencia del grupo dioxometileno o el par de metoxilos aromáticos en el anillo A (Fig. 1). Ante estas diferencias estructurales se observan también cambios en la actividad biológica contra *A. salina*. Entre los derivados con el grupo dioxometileno (1, 2), el compuesto hidroxilado es menos activo. Por otro lado, entre los derivados con los metoxilos aromáticos (3, 4) el compuesto hidroxilado resultó más activo. De los 4 compuestos, la tephrosina (4) que tiene la combinación hidroxilo-metoxilos aromáticos en su estructura es el compuesto más activo y es probablemente el mayor responsable de la actividad biológica contra *Artemia salina* observada en el extracto hexánico del *L. pentaphyllus*.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló bajo el financiamiento del proyecto UNIPAN-BID. Se agradece al Dr. Julio Urones González y al Dr. Isidro Sánchez Marcos del departamento de Química Orgánica de la Universidad de Salamanca por facilitar la realización de los espectros. Al Dr. Eligio Vega (q.e.p.d.), por su esfuerzo y contribución al desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Alkofahi, A., J. K. Ruppert, J. E. Anderson, J. L. McLauhlin, K. L. Mikolajczak, & B. A. Scott. 1989. Insecticides of Plant Origin, American Chemical Society. Symposium, series 387: 28-29.

Andrei, C. C., P.C. Vierra, J.B. Fernández, M.F. Da Silva, E. Rodriguez. Dimethylchromene rotenoids from *Tephrosia candida*. *Phytochemistry*, 1997, 46: 1081- 1085.

Bernal, H.Y. & J.H. Correa. 1992. *Especies Vegetales Promisorias de Los Países del Convenio Andrés Bello*, Tomo VIII, Ed. Guadalupe Ltda. SECAB, 368-392.

Birch, N., L. Crombie & W. M. Crombie. 1985. Rotenoids of *Lonchocarpus salvadorensis*: Their effectiveness in protecting seeds against bruchid predation *Phytochemistry*, 24 : 2881- 2883.

Correa, A. M., C. Galdames & M. Staff. 2004. Catálogo de las plantas vasculares de Panamá. *Novo art.*

Chabra, S.C. & F.C. Uiso. 1984. Phytochemical screening of Tanzanian medicinal plants. I. *Journal of Ethnopharmacology*, 11: 157 – 179.

Donnelly, D. X. M. & G. M. Boland. 1995. Isoflavonoids and neoflavonoids: naturally occurring o-heterocycles. *Natural Product Report*, 12: 321- 328.

Garcia Barriga, H. 1974. *Flora Medicinal de Colombia*, Universidad Nacional de Bogotá, tomo I, 505-508.

Kole, R. K., C. Satpathi, A. Chowdury, M. R. Ghosh & N.A. Dityachaudhury. 1992. Isolation of amorpholone, a potent rotenoid insecticide from *Tephrosia candida*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 40: 1208-1210.

Konoshima, T., H. Terada, M. Kokumai, M. Kozuca, M. Haruna, K. Ito, J.R. Estes, L. Li, H. K. Wang & K. H. Lee. 1993. Structural elucidation and chemical conversion of amorphispironoine, a novel spironone from *Amorpha fruticosa*, to rotenoids. *Chem. Pharm. Bull.*, 41: 187 – 190.

Konoshima, T., H. Terada, M. Kokumai, M. Kozuca, H.M. Tokuda, K. Ito, L. Li, H.K. Wang, K.H. Lee. 1993. Studies inhibitors of skin tumor promotion, XII rotenoids from *Amorpha fruticosa*. *Journal of Natural products*, 56: 843 – 848.

Luyengi, L., I.S. Lee, W. Mar, H.H. Fong, J M. Pezzuto, & A.D. Kinghorn. 1994. Rotenoids and chalcones from *Mundulea sericea* that inhibit phorbol ester-induced ornithine decarboxilase activity. *Phytochemistry*, 36: 1523 – 1526.

Meyer, B.N., N.R. Ferrigni, J.E. Putnam, L.B. Jacobsen, D.E. Nichols & J.L. McLaughlin. 1982. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Medica*, 45: 31-34.

Moretti, C. & P. Grenand. 1982. Les *nivréés* ou plantes ichthyotoxiques de la guyane française. *Journal of Ethnopharmacology*, 6: 139- 160.

Neuwinger, H.D. 1996. African Ethnobotany Poisons and Drugs, Chapman and Hall, 682-684.

Organización Panamericana de la Salud. 1991. Procedimiento para determinar la susceptibilidad o resistencia de las larvas a los compuestos organofosforados y a los carbamatos insecticidas. *Entomología con Énfasis en Control de Vectores*, Secretaría de Salud, Subsecretaría de Servicios de Salud, Dirección General de Medicina Preventiva, México, Volumen II: 633-640.

Prance, G. T. & B. A. Krukoff. 1972. An ethnobotanical comparison of four tribes of amazonian indians. *Acta Amazónica*, 2: 7-27.

Woodson, R.F. & R.W Schery. 1965. *Annals of The Missouri Botanical Garden "Flora of Panama"*, Vol. 52: 39-47.

Yamatomo, Y. 1970. Mode of action of pyrethroids, nicotinoids, and rotenoids. *Annual review of Entomology*, 15, 257- 270.

Yenesew, A., J.O. Midiwo & P.G. Waterman. 1998. Rotenoids, isoflavones and chalcones from the stem bark of *milletia usaramensis* subspecies *usaramensis*. *Phytochemistry*, 47: 295- 300.

Recibido abril de 2004, aceptado diciembre de 2004.



CONCEPTOS PARA EL SANEAMIENTO DE LA BAHÍA DE PANAMÁ

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Bogdan Kwiecinski

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Biología Marina y Limnología
e-mail: Bawjecin@cwpanama.net

RESUMEN

Con el fin de buscar soluciones óptimas para el polémico tema del saneamiento de la Bahía de Panamá, se presentan varias opciones que pueden ser satisfactorias desde el punto de vista técnico, económico y social. Se confrontan las alternativas de un sistema de tratamiento de aguas servidas vs. el uso de emisarios submarinos que conlleva el consecuente proceso de dilución en mar afuera. En conclusión, se aboga y justifica según los argumentos técnicos, económicos y sociales, la utilización de los emisarios submarinos que presentan múltiples ventajas en comparación a las plantas de tratamiento de aguas servidas.

PALABRAS CLAVES

Coliformes focales y totales, sedimentos anaeróbicos, lodos digestivos, emisario submarino, tratamiento de aguas servidas, dilución inicial y total, afloramiento, análisis económico, alternativas de saneamiento.

ABSTRACT

In order to find the optimal solution to the sanitation of the Panama Bay several alternatives are discussed and a final conclusion is suggested. Basically, the paper presents the pros and the cons of managing the sewage water of the Panama City via a submarine emissary versus a waste water treatment plant. In conclusion, the arguments of technical, economical, and social character favor the application of the submarine emissary and subsequent dilution over the application of the sewage water treatment plant.

KEYWORDS

Fecal and total coliforms, anaerobic sediments, submarine emissary, sewage water treatment, initial and total dilution, upwelling, economic analysis, alternatives.

INTRODUCCIÓN

Dentro de innumerables planteamientos que se han hecho sobre la contaminación y el saneamiento de la Bahía de Panamá frecuentemente predominan descripciones y conclusiones sensacionalistas que distorsionan la verdad y crean sin motivos suficientes una imagen bien alejada de la realidad, confundiendo las autoridades involucradas en este tópico.

Los estudios anteriores realizados sobre el problema (IDAAN 1977; González et al., 1975; y D' Croz 1991), indican por cierto que existe una realidad y ésta es una apreciable contaminación de un sector de la bahía que impide convertir secciones de la misma en áreas de recreo. Esta contaminación se refiere fundamentalmente a la parte oriental de la bahía donde la misma está más bien limitada a una franja de la costa de aproximadamente una milla náutica de ancho (Fig.1).

A lo largo de los últimos años varias instituciones nacionales han expresando sus opiniones sobre el saneamiento de la Bahía de Panamá. Algunas de esas opiniones son más o menos acertadas, pero en otros casos son bastantes confusas y alarmistas. Frente a esta situación parece que lo primero que deberíamos hacer, tanto la administración del país como la ciudadanía en general, es considerar los siguientes planteamientos:

- 1- Es imprescindible sanear la Bahía de Panamá?
- 2- Es este proyecto de máxima prioridad social?
- 3- Está justificado el costo de este megaproyecto de 400 millones de balboas?

Si por cierto es deseable sanear la bahía, existen algunas dudas sobre si su saneamiento es socialmente justificado y no es más bien un lujo para pocos y no una necesidad inminente para toda la ciudadanía y mucho menos por el actual presupuesto de 400 millones de balboas.



Fig.1. Aviso de la Alcaldía que prohíbe bañarse en la Bahía de Panamá según el decreto No. 689 del 19 de agosto de 1991.

Vale la pena recordar que el presupuesto inicial comenzó con menos de 200 millones de balboas en el año 2000, sobrepasó los 300 millones de balboas en junio del 2001, para llegar a cerca de 400 millones de balboas en el 2003 y a la hora de la realización, como de costumbre, seguramente sobrepasará con creces el último presupuesto estimado.

Los medios de comunicación informaron sobre el megaproyecto de saneamiento de la Bahía de Panamá, el día 13 de agosto de 2000, que según el Banco del Interamericano del Desarrollo, (BID) incluía plantas de tratamiento primario, conjuntamente con la utilización de emisarios submarinos, con un costo total inferior a los 200 millones de balboas, lo que parecía razonable de punta de vista técnico y económico. (Berrocal 2000).

Posteriormente se creó una ley especial sin ninguna justificación técnica que prohíbe en Panamá el uso de emisarios para la disposición de aguas servidas. Con esta acción, el proyecto del Banco Interamericano del Desarrollo fue rechazado, elevando el costo de saneamiento desde los 200 hasta por lo menos 400 millones de balboas.

En adición, hay que tomar en cuenta que para una laguna estabilizadora se necesita una hectárea de terreno por cada cinco mil habitantes. Esto sugiere que para un millón de habitantes de la Ciudad de Panamá se necesitarán 200 hectáreas, o sea dos millones de metros cuadrados de terreno. A un costo promedio de diez balboas por metro cuadrado, esto representa un costo total adicional de veinte millones de balboas a lo previamente presupuestado.

Hay que considerar que las plantas de tratamiento de aguas negras, con sus estaciones de bombeo, significan necesidad de personal de mantenimiento, lo que a su vez conduce a la creación de un organismo, compañía, instituto, dirección, etc., que alguien tendrá que pagar y lo más probable es que sea el gobierno, o el pueblo.

Además, cualquiera planta que incluya, más allá del tratamiento primario, generan una carga de cerca de dos mil toneladas de lodos digestivos por día. Esta cantidad representa casi el doble de la disposición diaria de todos los sólidos (basura), de la Ciudad de Panamá.

El Concepto del Emisario Submarino

Además de las plantas de tratamiento la ingeniería sanitaria dispone de otras opciones que incluyen emisarios submarinos por separado o en conjunto con las plantas de tratamiento. El emisario submarino consta de una tubería de plástico, cemento o metal, de aproximadamente un metro de diámetro, que termina en un difusor, que es un tubo perpendicular al conducto principal que asegura un alto grado de la dilución inicial. Las aguas servidas descargadas quedan sujetas a la dilución en función del régimen de las condiciones oceanográficas y meteorológicas del área. En adición, los coliformes fecales y totales mueren en el agua del mar en pocas horas según las condiciones medioambientales locales. Todos estos factores componen finalmente la magnitud de la dilución final lo que es el producto de las diluciones individuales.

Justamente, la Bahía de Panamá presenta condiciones muy favorables para la disposición de las aguas servidas a través de emisarios submarinos. Esto se debe a la presencia de fuertes corrientes, tanto

netas (Corriente de Colombia), como por las corrientes de marcas, que dispersan y diluyen los coliformes introducidos. También favorece el fenómeno oceanográfico de afloramiento costero, que ocurre cada año en la temporada seca y que de un lado aleja las aguas superficiales de la bahía hacia mar afuera y a cambio introduce a las orillas de la bahía masas de aguas sub-superficiales limpias, frías y de alta salinidad.

Para los que reclaman si el uso de los emisarios no es simplemente pasar el problema del litoral hacia fuera para contaminar la alta mar, la respuesta es que precisamente éste es el propósito de los emisarios. Se mantiene limpio el litoral al cambio de sacrificar un área reducida de un par de kilómetros cuadrados de alta mar. Y que significa esto, simplemente un par de kilómetros contaminados en comparación de 28,000 kilómetros cuadrados de la superficie total del Golfo de Panamá, o sea una proporción de cerca de 1:10,000 lo que resulta en una centésima parte del 1%.

Por lo tanto, se sostiene la tesis de manejar el saneamiento de Bahía de Panamá a través del tratamiento primario (o tan solo la separación de los sólidos), en conjunto con un emisario submarino diseñado apropiadamente que provea de un mecanismo eficaz para la eliminación de las aguas servidas mediante dilución inicial de cien a uno en forma consistente durante los primeros minutos de descarga. Ello reduciría la concentración de materia orgánica y nutrientes a niveles que no tendrían efectos ecológicos adversos en el mar abierto.

Al hablar de saneamiento de la bahía, corresponde tratar también lo que a veces es un tabú: el tema de los rellenos, ya que no todos los rellenos son buenos, pero tampoco todos son malos. El punto clave es una buena planificación y adecuada coordinación dentro de un plan integral de desarrollo de la bahía. Los rellenos bien planificados podrían mejorar la problemática de malos olores en el área más allá del propio saneamiento. Esto se debe a que con saneamiento o sin saneamiento los sedimentos malolientes se quedarían y tardarían varios años antes de que la situación se normalice. De punto de vista puramente técnico, hay que mencionar que son justamente los sedimentos y la basura de los ríos con alto contenido de la materia orgánica los que tienen el mayor impacto hacia la contaminación y malos olores que se perciben en buena parte de la Avenida Balboa.

debido a los procesos anaeróbicos y de producción de ácido sulfhídrico mal oliente dentro de los sedimentos. La pregunta entonces es: Para qué necesitamos sedimentos malolientes?

El dragado de los sedimentos malolientes sería demasiado costoso, así que parece lógico de cubrir los sedimentos en la parte entre Punta Paitilla y el Miramar con una franja de unos cien metros con arena y grava, eventualmente realizando un relleno sólido para fines recreativos y no comerciales. Estas técnicas de manejo de los sedimentos anaeróbicos son aplicadas en forma rutinaria en países europeos. En cuanto a rellenos, vale la pena recordar que la mitad del Principado de Mónaco y más de la mitad de Holanda están hechos de rellenos. Pero esto sí, bien planificados y coordinados.

Los reconocidos expertos del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y La Organización Panamericana de la Salud (Salas 1988), indican textualmente que: "A menos que haya una clara justificación, en América Latina no se debe adoptar a priori prácticas de algunos países desarrollados, que obedeciendo a razones políticas en vez de técnicas exigen el tratamiento secundario de las aguas residuales". Más bien, en una situación de mar abierto, no compleja, los emisarios submarinos en combinación con la remoción de material flotante poseen muchas ventajas sobre las soluciones convencionales que utilizan tratamiento secundario de aguas residuales con descargas más cercanas al litoral. Lo mismo confirma Roberts (1997), recomendando la disposición de las aguas servidas en los mares por vía de emisarios y sin ningún tratamiento excepto la separación de los sólidos.

Un clásico ejemplo de una exitosa aplicación de los emisarios submarinos está demostrada en el saneamiento de aguas del litoral de Río de Janeiro, donde después de instalación del emisario la concentración inicial de coliformes totales de unos 100,000 NMP/100ml en el año 1974 bajó a cerca de 1000NMP/100ml en los años 1980-1982. (Fig. 2). Todo esto se logró sin la aplicación de ningún tratamiento (Salas 1988).

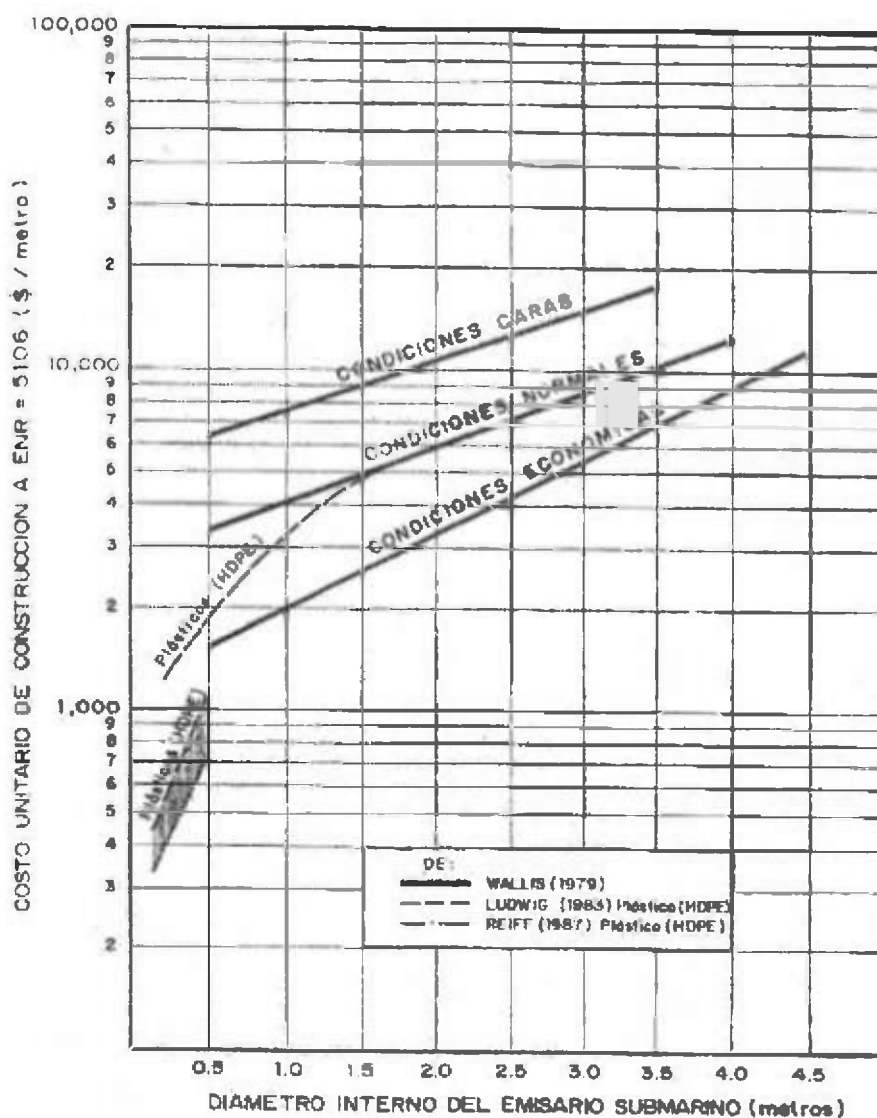


Fig. 2. Distribución de los coliformes totales antes y después de la construcción del Emisario Submarino de Ipanema. (Salas 1998).

Los modelos matemáticos y el monitoreo de efluentes indican que el efecto de la descarga de aguas servidas sin tratamiento está limitada a una pequeña área de pocos kilómetros cuadrados alrededor del punto de la descarga.

En cuanto a lo económico, comparando el costo de plantas de tratamiento secundario con el costo de los emisarios, inclusive de gran extensión, estos últimos suelen ser mucho más baratos que las plantas de tratamiento secundarios, tanto en su costo inicial como en su mantenimiento.

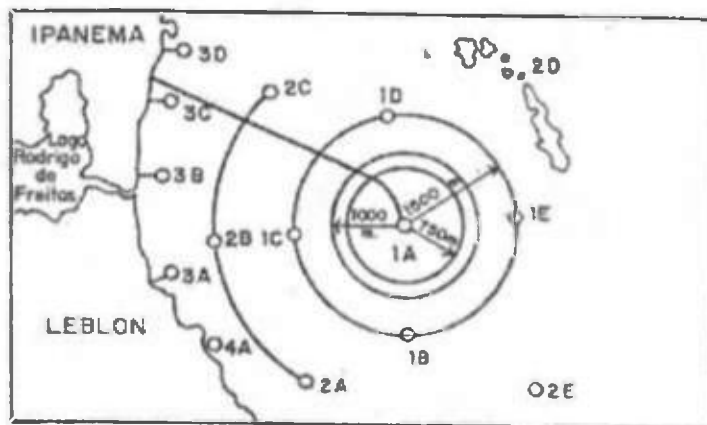
Un análisis económico (Ludwig 1998), demuestra que para las aguas servidas urbanas típicas las diferencias de costo de construcción, mantenimiento y operación entre el tratamiento secundario y los emisarios submarinos largos, con sólo tratamiento primarios convencional, claramente favorecen a la última. Esa conclusión se basa en que los emisarios submarinos largos (de varios kilómetros), apropiadamente diseñados que descargan las aguas de profundidades mayores a 20 metros, cumplen con estándares de calidad microbiológica para aguas con fines de recreo, tanto en coliformes totales como fecales.

Como nota informativa, se estima el costo de la instalación de emisarios plásticos de diámetro mediano cuesta en promedio B/. 5,000 por metro (Fig. 3), lo que en el caso de Panamá significaría menos de 50 millones de balboas, ya que se estima la longitud del emisario necesario en cerca de nueve kilómetros.

Alternativas de Saneamiento de la Bahía de Panamá

En cuanto a este tópico básicamente tenemos dos escenarios:

El plan mínimo sería no hacer nada y seguir soportando los malos olores y la continua sedimentación de la materia orgánica, especialmente acentuada entre la Punta Patiulla y la marina del complejo Miramar. Ni hablar de un ambiente apto para la pesca o recreo en la parte oriental de la Bahía de Panamá, incluyendo el Casco Viejo, pero aún así, sobreviviremos por buen tiempo.



UBICACION DE LA ESTACION DE MUESTREO

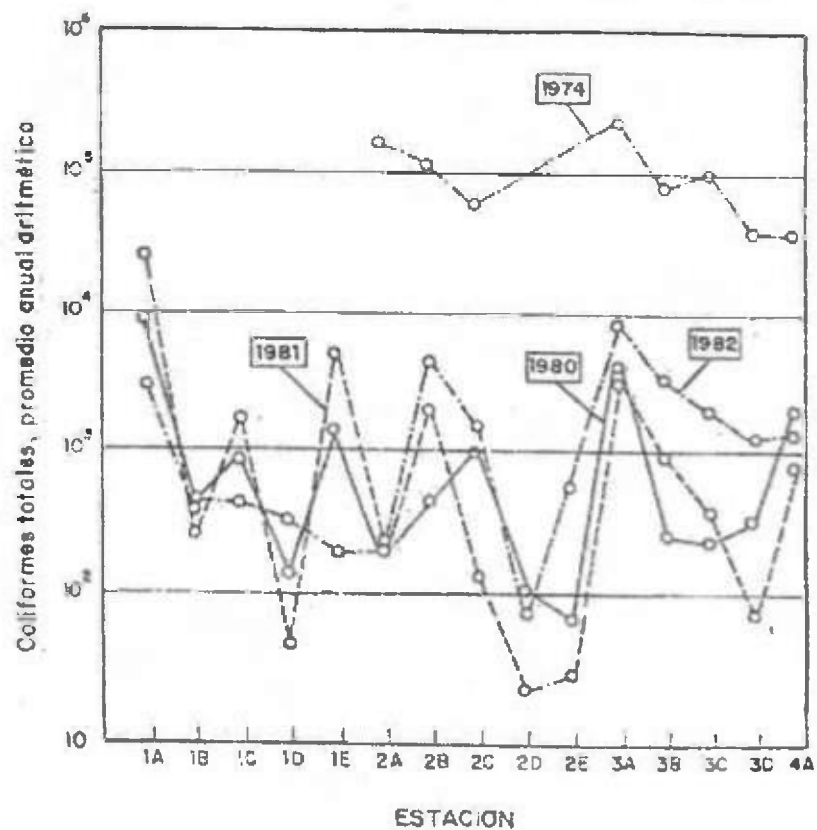


Fig. 3. Estimaciones del costo de los emisarios submarinos, de acuerdo al diámetro (, m) según tres alternativas económicas. (Salas 1998).

El plan intermedio que contempla el saneamiento de la Bahía de Panamá por etapas persiguiendo objetivos menos ambiciosos y por ende mucho menos costosos. Resolviendo en la primera etapa la contaminación del área comprendida desde el Hipódromo Presidente Remón, hasta San Felipe, incluyendo a todas las barriadas entre estos dos puntos. (Kwiecinski et al., 2001). Este saneamiento debería comprender lo siguiente:

1. Eliminación de la contaminación del Río Mataznillo.
2. Limpieza y reparación del actual sistema de alcantarillados y de la estación de bombeo de la Vía Brasil, lo que disminuiría sustancialmente la descarga de aguas negras en el Río Mataznillo.
3. Prolongación del cauce del Río Mataznillo por unos quinientos metros, mar afuera.
4. Ubicación de un emisario submarino para las aguas servidas de esta área con longitud cercana a 9 Km. e instalación de una planta para la separación de los sólidos.
5. Eventualmente, un relleno de los sedimentos acumulados a lo largo de la Avenida Balboa (para fines recreativos y no comerciales), con arena y grava.

Es oportuno recordar la pésima experiencia local en el manejo de plantas de tratamiento de aguas servidas, a juzgar por el fracaso de las instalaciones pertinentes que forman parte de la infraestructura recientemente creada para Fuerte Amador. En este caso, después de inversiones millonarias la planta no funciona y las aguas servidas se disponen directamente en la Bahía de Panamá. Esta experiencia nos permite insistir en el saneamiento de la bahía utilizando emisarios submarinos y tratamiento primario, en lugar de incurrir en un fracaso mucho mayor con las proyectadas plantas de tratamiento de aguas servidas. Esto representa un ahorro de al menos 200 millones de balboas para el país.

En conclusión, la alternativa intermedia que aquí propongo, es técnicamente sana y razonable en su presupuesto, para garantizar los legítimos derechos de la ciudadanía de mantener la bahía en condiciones aceptables desde el punto de vista de salubridad, estética y

recreo, sin sobrecargar los costos para el Estado Panameño, ni los bolsillos de la ciudadanía.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Prof. Luis D'Croz los buenos oficios en la revisión de este manuscrito, pero ante todo por simpatizar y compartir una buena parte de los planteamientos expuestos en este artículo.

REFERENCIAS

- Berrocal, R. 2000. El Panamá América. 13 de agosto 2000.
- D'Croz, L. 1999. Contaminación de la Bahía de Panamá. Ancón. Vol. 6, No.1.
- González, A. G., D. Alvarado & C.T. Díaz. 1975. Canal Zone Water Quality Study. Final Report. Water and Laboratory Branch, Maintenance Division, Panama Canal Zone. Vol.1,2,3.
- LD.A.A.N. 1977. Informe Sobre Tratamiento de Aguas Negras y Rehabilitación del Casco Viejo de la Ciudad de Panamá. Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales, Panamá.
- Kwiecinski, B., Rodríguez & V. Rodríguez. 2001. El rol de la oceanografía en el diseño del emisario submarino para la Bahía de Panamá. *Tecnociencia*, Vol.3, No.2.
- Ludwig, R.G. 1998. Evaluación del Impacto Ambiental, Ubicación y Diseño de Emisarios Submarinos. Documento de la EIA, Reporte de MARC No.43. Centro de Investigación de Monitoreo y Evaluación, OMS.
- Roberts, Philip. 1997. The Marine Disposal Option for Wastewater from Large Metropolitan Areas. Curso Regional Sobre Emisarios Submarino y Otros Métodos de Disposición de Aguas Residuales. CPPS/PNUMA/OPS. Viña del Mar, Chile 1997.

Salas, H. J. 1988. Emisarios submarinos, alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y Caribe. OPS/CEPIS/PUB 95.12.

Salas, H. J. 1995. Programa básico de cómputo para el diseño de un emisario submarino. CEPIS, Lima, Perú.

Recibido febrero de 2004, aceptado junio de 2004.



GARACHINÉ: UN PUEBLO QUE SE SUMERGE EN EL FONDO DEL MAR

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Percis A. Garcés

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

Centro Regional Universitario de San Miguelito.

E-mail: perchysg@hotmail.com

RESUMEN

En este escrito se hace un recuento histórico de la fundación del pueblo de Garachiné, el cual está localizado en la provincia de Darién. Tratamos de documentar como en un espacio de aproximadamente 100 años el mar ha avanzado hacia tierra firme y con ello ha sumergido las huellas de nuestros antepasados. Y aunque no hace referencia a la dinámica de las olas, es obvio que los fuertes oleajes y la fuerza de las corrientes litorales han contribuido a profundizar el retroceso de la línea costera del pueblo de Garachiné. De modo que identificando ciertas actividades antropogénicas como: la construcción de viviendas cerca de la costa, la deforestación del manglar y la extracción de piedra y arena de la costa, hemos podido reconocer las principales causas que han originado la deformación de estas costas. Por último, pretendemos llamar la atención acerca de la posible reducción de las costas panameñas, motivar a la reflexión y, a visualizar alternativas tendientes a prevenir o revertir el proceso de erosión de las costas.

PALABRAS CLAVES

Garachiné, erosión, línea costera.

ABSTRACT

With this work I have the purpose of telling the Garachiné's story, which is located in the province of Darien. Also, I try to point out how in about 100 years the has moved to the land, sinking the trail of our ancestor. Even thought, this writing do not make reference about the wave dynamic, it is obvious that strong wave and the power of the costal stream have contributed to the change of costal line of this town. So that, the identification of some human activity such as: houses building near the coast, mangrove deforestation and the extraction of rock and sand of the coast are the main

causes that have originated this deforestation of the coast. So, in this paper I want to call the attention about the possible reduction of the coastal line that can happen in others coastal Panamanian.

KEYWORDS

Garachiné's, erosion, line coastal.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el cronista Fernández de Oviedo, el nombre de Garachiné proviene del dominio territorial de un cacique llamado Canachine, (por los años de 1500 y 1510 en la Provincia Cueva como se conocía anteriormente a la Provincia de Darién, de acuerdo con Kathleen Romoli) que vivía en la punta que encierra el Golfo que hoy conocemos como Garachiné ^{1,2} (Fig. 1).



Fig. 1. Mapa de la Provincia de Darién, indicando la ubicación territorial del cacique Canachine.

La historia de éste nombre también está ligada al inicio de los establecimiento de los poblamientos hispánicos ocurridos en el Darién del Sur en 1777 por iniciativa de Luis de Alarcón, quien recibió un permiso real para el establecimiento de un pueblo de indios. El establecimiento de este pueblo contó con indígenas provenientes del pueblo de Beté así como de cimarrones de la costa y de negros esclavos y libres¹.

Para esta misma época se inició la disputa de este territorio pues desde el Darién del Sur, que tenía como epicentro a Yaviza, se inicia un proceso de ocupación y poblamiento al sur de Punta Garachiné, que conduciría a principios del siglo XIX a la fundación de pueblos en Jaqué, Piñitas y Juradó, éste último llamado San Roque de Juradó; pueblos formados por criollos, negros libres o cimarrones. También del sur del Pacífico, del interior del Cauca y del Chocó, van a llegar pobladores, en su mayoría negros, y esclavizadores quienes poseían propiedades las cuales eran empleadas para la explotación¹.

Para estas movilizaciones se tiene fundamental incidencia en las corrientes marinas y en los vientos que predominan de sur a norte, conduciendo indefectiblemente la navegación a vela hacia Panamá. Por eso a mediados del siglo XIX, la explotación, aserrio de maderas y provisión de víveres que se efectuaba en esta zona seguía esta ruta. El acontecer económico seguía de hecho bajo control administrativo de Panamá, conllevando esto a los enfrentamientos entre los estados de Panamá y el Cauca; por eso al momento de presentarse la separación de Panamá y declararse como república independiente reivindicó ésta zona como propia ¹.

De hecho Panamá ejercía soberanía y los habitantes se consideraban panameños; circunstancia que obligó al gobierno colombiano a enviar misiones militares al mando del General Justiniano Jaramillo, primero en 1908 y después en 1909 para ejercer soberanía y quitarle el control a las autoridades panameñas, quedando después el sector bajo el control de puestos de la gendarmería nacional. Esto trajo como consecuencia el despoblamiento por la migración de los habitantes hacia el Darién del Sur, especialmente a Jaqué y Piñitas¹.

PASADO Y PRESENTE DEL PUEBLO DE GARACHINÉ

Actualmente, son muy poco los moradores del pueblo de Garachiné que conocen concretamente la fecha en que ocurrió la fundación del poblado, así como el origen del nombre y de los acontecimientos asociados a la fundación. No obstante, la versión que más se ha divulgado en la escuela José de la Cruz Herrera hace referencia a un grupo de peregrinos que viajaban embarcados en una “balandra” desde Colombia (Departamento del Choco) hasta lo que hoy se conoce como Río Congo. Entre ellos se encontraban el padre Calixto Hidrovo, quien tenía la misión de catequizar a los indígenas del Corregimiento de Sambú, acompañándolos Bárbara Bellido y la “mocha” Dolores Cundumi. La razón de su fundación y el origen del nombre, se encuentra en la raíz etimológica de dos vocablos indígenas (Garrachime) que significan “abundancia de cacería”. De modo que es la abundancia de presas de caza la que atrae la atención de estos peregrinos (Comunicación personal del Sr. Agustín Rivas (q.e.p.d).

Aparentemente la decisión de establecerse surgió como un acontecimiento fortuito. En uno de sus recorridos acostumbrados, al llegar a este sitio a uno de los expedicionarios le urge hacer una necesidad fisiológica, por lo que decide abandonar la embarcación y se interna por el manglar hasta llegar a una playa protegida por él mismo. El pugido de un “pavo de monte” lo tienta a seguir adentrándose por el bosque y a explorar o confirmar no sólo la existencia de ésta ave, sino huellas de animales mayores como el venado, el saino y el puerco de monte, así como de otros animales salvajes entre los que se incluyen el jaguar y el puma. Este descubrimiento es compartido con sus compañeros de viajes, quienes deciden organizar una incursión a este sitio con fines de cacería. De este acto, se desprende que no había intenciones de establecerse en este sitio, sino aprovecharlo como destino de caza y a partir de él mejorar la organización de otras expediciones. La noticia de las bondades de este lugar se propagó y estimuló el arribo de otros cazadores que al final terminaron construyendo “raunchitos o caseríos” que tenían la finalidad de servirles de refugio o como sitio para preparar la carne de los animales cazados (Comunicación personal del Sr. Agustín Rivas (q.e.p.d).

Tratar de relatar o conocer la historia de este corregimiento no es fácil. No obstante, para aquellos que desean conocerla, la misma aparece

escrita en el pasado sumergido de los vestigios mudos que aún luchan por no extinguirse. Existen varias evidencias que demuestran que el pueblo de Garachiné se ha estado sumergiendo lentamente, la primera, está relacionada con el sitio donde inicialmente se fundó el caserío que, posteriormente pasó a ser parte de la línea de construcción de los corrales. Actualmente, la primera etapa está cerca del sitio de fondeadero de los barcos que trasladan la mercancía de Panamá a Garachiné y viceversa (Comunicación personal Sr. Custodio Córdoba).

La segunda evidencia ocurrió posterior a la batahola del primer caserío. Estableciéndose los nuevos moradores aproximadamente a 80 metros de distancia del punto inicial. Entre estos pobladores se encontraban los señores Marcelino Rengifo, Pedro Perea, Pacheco Castañeda, Rita Montilla, Chino Vicente, Agustín Córdoba, Pablo Bedoya, Pedro Manuel Martínez y Luis Muñoz (Comunicación personal Sr. Agustín Rivas (q.e.p.d). En la actualidad son poco los restos de las antiguas casas que el mar no ha podido absorber como lo son: las gruesas fundaciones de cemento, los antiguos horcones que sostenían a las casas y los elementos de fierros carcomidos.

La actual ubicación de la playa de Garachiné dista de la antigua segunda etapa en aproximadamente 150 metros. Comentan los pobladores más viejos que la amplitud de la playa de Garachiné era extensa, y que la zona de tierra firme era un llano extensamente boscoso, donde se realizaban actividades como la cacería, la agricultura y con el paso del tiempo se practicaban algunos deportes. Actualmente, todo ese antiguo escenario ha desaparecido y con ello las huellas de los primeros antepasados. No obstante, aun permanecen tres viejas estructuras como testigos de un pasado que se sumerge. La primera, corresponde a la iglesia que remembra la preocupación de los moradores por conservar su fe cristiana, la segunda, el cementerio que enaltece el respeto irreverente que existía por los muertos. Y por último, un ferry que se varó hace aproximadamente unos 35 años.

La modificación de la playa de Garachiné no difiere de la realidad que hoy día presentan otras playas o sitios costeros de Panamá, en la costa del Pacífico Sur. Las actividades antropogénicas realizadas por décadas son parte de las consecuencias ecológicas que padece la costa de este pueblo. Entre ellas, las construcciones de viviendas a

orilla de la playa o detrás de los manglares, la tala indiscriminada del manglar para crear atracaderos de lanchas, la intensa actividad agrícola y la extracción de arena o piedra de la orilla de la misma. Todas estas acciones en su conjunto han favorecido el avance del mar. Aunque en estas costas el efecto de la urbanización no ha ocurrido como en otros países con mejores recursos económicos, es incuestionable que estas actividades han ocasionado un fuerte impacto ambiental.

De acuerdo con una reunión realizada por el Grupo de Expertos en los Aspectos Científicos de la Contaminación Marina (GESAMP) en 1986, se presentó un informe que entre sus observaciones concluye que el desarrollo costero constituye una seria amenaza a las costas debido a que altera el hábitat costero, contamina, provoca la destrucción mecánica de tierras húmedas, manglares, arrecifes de coral y médanos (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1991).

Los efectos de estas actividades son sintetizados a continuación. Con la deforestación del manglar, que era la barrera física natural, se profundizó el fuerte oleaje y se crearon y definieron nuevos márgenes costeros, por lo cual se deforma la antigua ensenada de Garachiné. La extracción de piedras y arena de la playa, para la construcción de calles y casas de cemento, han contribuido progresivamente a desestabilizar la resistencia que ofrecían las piedras al fuerte oleaje de las mareas, por lo que intensificó la erosión de la zona intermareal y con ello la morfodinámica de esta playa.

Con toda seguridad para el año de 1910 no era fácil predecir el cambio que se iba a producir al eliminar estas barreras naturales que protegían la línea costera del pueblo. Es por ello que pensamos que en los últimos 60 años, el mar no ha tenido impedimento para avanzar hacia tierra firme. Debido a esto, algunas de las casas que anteriormente estuvieron muy próximas a la línea costera han quedado sumergidas por el mar, en tanto que otras han tenido que ser reubicadas para evitar correr el mismo destino.

Tal cual hemos señalado, con la formación de la segunda etapa algunas construcciones eran más elaboradas; es decir, ahora las casas se alzan sobre pilotes y otras tenían gruesas estructuras de concreto. De esta última sobresale el horno de asar pan de Luz Muñoz, que también era

empleado como depósito de "tagua" o "marfil vegetal", el cual era utilizado para confeccionar botones y los conocidos platos de tagua. Otras estructuras que aun permanecían eran las antiguas base de concreto de las escaleras.

EVIDENCIAS Y ANALISIS DEL AVANCE DEL MAR

Tal cual se presentado el objeto de este escrito no es discutir los aspectos relacionados con la morfodinámica de la playa de Garachiné, sin embargo, hay evidencias que sustentan que la zona litoral, de la playa, a experimentado procesos geomorfológicos que no han sido documentados. Para confirmar los cambios ocasionados por estos procesos procedimos a medir la distancia que había entre las viejas estructuras y las diferentes zonas de la playa.

Las evidencias que ilustran que el mar ha ido avanzando hacia las costas del pueblo de Garachiné están sustentadas por la distancia entre las estructuras que estuvieron en tierra firme y las zonas litoral y supralitoral (Nomenclatura tomada de Barnes, 1984). Esta distancia ilustra como ciertos elementos, conspicuos, como el antiguo "horno de pan" se encuentra aproximadamente a 112.0 m hasta el margen inferior de la zona litoral. De este punto al margen superior de la zona litoral alcanza unos 19,3 m y hasta la zona supralitoral otros 14,0 m. En síntesis, el avance total del mar hacia tierra firme ha sido de aproximadamente en 145,3 m. Y el mismo es más intenso cuando ocurren las mareas de agujas de 18.0 pies, que por su fuerte oleaje sobrepasan la zona supralitoral en más de 50.0 m e inundan los patios de las casas ubicados frente a la playa.

Otro estructura que ilustra este avance del mar es un "ferry" varado en la playa de Garachiné en 1968 (Fig. 2). Con el paso del tiempo ésta estructura, de hierro, se ha ido desintegrando, permaneciendo en el área tan sólo algunos fragmentos oxidados. La distancia que separa el sitio donde se varó el ferry hasta el margen inferior de la zona litoral es de 42.0 m; distanciamiento que a tomado aproximadamente unos 35 años. De estas cifras se desprende que la pérdida de tierra firme por año ha sido de 1.2 m. Para sustentar este hecho, presentamos a continuación las mediciones obtenidas. La distancia comprendida entre el margen inferior de la zona litoral hasta el margen superior de la misma fue de 10.5 m, y hasta la zona supralitoral fue de 14.0 m. Estas mediciones permiten

concluir que el avance del mar y la definición del nuevo margen costero, para ésta vieja estructura, ha sido de aproximadamente 66.5 m.



Fig. 2. Restos del ferry varado en la falda de la playa en 1968.

Otro hecho que ilustra este avance ha quedado plasmado en los restos de la vieja iglesia (Fig. 3) del pueblo de Garachiné que, además contaba con un antiguo comedor y un con depósito. Durante los últimos años, el fuerte oleaje ha logrado abatir esta fortificación, quedando tan sólo restos resquebrajados de concreto. Cuentan los moradores que esta iglesia se construyó sobre un antiguo campo santo que quedaba detrás del pueblo de la primera etapa, producto de ello, hace aproximadamente unos 10 años el mar excavó parte sus cimientos y expuso dos tumbas que contenían restos humanos. Una vez más el mar ha contribuido a sumergir en el fondo del mar las huellas de nuestros antepasados, pero con la diferencia de que esta vez desenterró los huesos humanos que celosamente habían sido guardados debajo de la iglesia.



Fig. 3. Fragmentos de la iglesia de Garachiné.

Es oportuno destacar una vez más que, lo significativo de este avance se intensifica cuando las mareas altas son de 17 ó 18 pies; debido a que las mismas penetran e inundan los terrenos de tierra firme hasta unos 50.0 m, incluyendo las calles, los patios de las casas y algunos postes del tendido eléctrico. Probablemente estas inundaciones en ciertas partes de las costas han sido favorecidas por diversas causas, entre ellas, la baja y extensa llanura que presenta el pueblo de Garachiné. En este sentido, la frecuencia con que se inundan estos terrenos hace que el agua que penetra tierra adentro tienda a redistribuirse en la medida que no encuentre ningún tipo de impedimento y posterior a ello tienda a ir fijando el nuevo margen costero. Otros factores que han contribuido ha facilitar la incursión del agua de mar hacia tierra firme, es el hecho de que durante mucho tiempo tres sitios cercanos a la costa han sido utilizados para desembarcar mercancía y pasajeros provenientes de Panamá, así como la pesca artesanal del día. Con frecuencia, estos sitios también se han caracterizado por servir de atracaderos de las embarcaciones, por lo que han facilitado la formación de un canal depresivo. Por lo que, con la modificación de la topografía de la zona intermareal, se han profundizado los canales y en consecuencia el agua penetra más fácilmente al interior de las llanuras. Esta penetración inicialmente era en forma esporádica, pero con el paso del tiempo son más frecuentes (Fig. 4).



Fig. 4. Horcones y Casa amanazada con sumergirse en el fondo del mar.

A la luz de estas tres últimas evidencias (el horno de pan, el ferry y la iglesia), podemos concluir que por más de 100 años la línea costera del pueblo de Garachiné ha ido avanzando gradualmente y, es muy probable que este avance se haya acelerado en las tres últimas décadas. Tal como lo hemos expresado con anterioridad, el propósito de este escrito no es hacer un análisis exhaustivo de la pérdida de la línea costera del Pacífico Panameño. Sin embargo, pensamos hay suficientes evidencias que testifican que este tipo de fenómeno como la erosión de las costas también se está dando en otros sitios del país, en sitios como: Punta Chame, San Carlos y Farallón; y es muy probable que dicho fenómeno no se esté documentando de manera formal. Por lo que, con todo lo expuesto, es probable que la franja terrestre que forma el estrecho istmo de Panamá se está erosionando a un ritmo impredecible; y lo peor aún es que no existan acciones encaminadas a detener o ha revertir el proceso de erosión en las costas.

A nivel internacional, los cambios costeros pueden ser analizados con enfoques locales y otros con enfoques globales, a continuación presentamos un ejemplo de cada uno de estos enfoques:

1) Según informes recientemente emitidos por 11 naciones africanas, grandes secciones de la línea costera africana están retrocediendo rápidamente. La costa al frente de Grand-Bassam, la capital colonial de Costa de Marfil, está en peligro de desprenderse y caer al Océano Atlántico. Secciones de la línea costera nigeriana están desapareciendo a la alta tasa de 30 metros por año³. El principal motor de estas transformaciones dinámicas es la energía del mar, a través de mareas, olas y corrientes litorales.

Debido a su fuerte oleaje, la actual costa de Garachiné pudiera estar presentando una mayor amplitud de las mareas altas (macromareal), por lo que, también se pudiera estar elevando la energía involucrada durante las marejadas, lo que continuaria acelerando la erosión de las costas. En consecuencia, la forma de las costas son resultados de procesos geológico-geomorfológicos aunados a la acción de las mareas. En síntesis, la morfología costera es diseñada por la acción marina, acción esta que modela la forma y evolución de la franja costera mediante procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos ⁴.

2) La otra consideración, está plantada en el documento del (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1991) que destaca el impacto que tiene el calentamiento mundial sobre los océanos y las costas. El calentamiento mundial pronostica un aumento del nivel mar en las líneas costeras superior a los 100 cm durante los próximos 100 años, lo cual inundaría más de 20 km de tierra firme (contados a partir de la actual línea costera) y afectaría de modo grave a los deltas densamente poblados y a las naciones insulares situadas en un nivel muy bajo.

Al final de cuentas, es probable que en primer de los enfoque sea el que más está asociado en las costas del Pueblo de Garachiné, aunque de alguna forma pareciera que la naturaleza también intenta mantener su equilibrio. Y esto se debe a que al frente de la costa del mismo, se erige un parche de mangle *Rhizophora mangle* de aproximadamente 119.0 m de largo y 112.0 m de ancho, con escasos y aislados plantones que han ido proliferando de los rhizóbios del mangle. El crecimiento y la expansión de este pequeño manglar puede contribuir a mitigar la erosión de las costas y ha restaurar la frágil línea costera del pueblo de Garachiné.

Tal cual lo mencionamos en el inicio del escrito, deseamos que el mismo sirva para documentar este proceso y para motivar a la reflexión de los procesos que están acelerando la deformación de nuestras costas, y de las acciones que debemos tomar para prevenir y revertir estos procesos que estrechan nuestras playas.

CONCLUSIONES

Las acciones antropogénicas como las construcciones de viviendas cerca de línea costera, la deforestación de los manglares y las extracciones de grandes cantidades de arena y piedras de las costas han favorecido la erosión de la costa del pueblo de Garachiné.

Actualmente, una calle separa al pueblo de Garachiné de la playa, y dos casas son las más amenazadas. La realidad y las predicciones del futuro de este pueblo no son difíciles de pronosticar, de hecho pareciera que su destino está cada vez más ligado a las faldas del Cerro Sapo, que en otrora se veía como un punto lejano y hacia donde los moradores han tenido que irse replegando y, la otra ruta es dejar que el

fenómeno del sumergimiento o la erosión de las costas prosigan su curso hacia el fondo del mar, donde yacen las primeras huellas de sus hombres y mujeres.

REFERENCIAS

Barnes, R. D. 1984. Zoología de Invertebrados. Cuarta Edición. Edit. Interamericana. 1157 pp.

Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 1991. Recursos Mundiales 1990-1991. World Resource Institute. Informe del Instituto de Recursos Mundiales/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<http://museo.udea.edu.co/codice/codice2/mayolicas2.html>¹

<http://www.doaks.org/Tbarra.pdf>²

<http://www.turisos.net/notas/nota06.html>³

<http://www.elchenque.com.ar/geo/temrelgeo/03/dinacoste.htm>⁴

Recibido noviembre de 2003, aceptado enero de 2004.



POR DEBAJO DEL LÍMITE DOPPLER: EL ENFRIAMIENTO SÍSIFO

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Adriano Ibarra – Durán

Servicios de Laboratorio S.A., SERLAB S.A.

E-mail: adrian_ibarra@hotmail.com

RESUMEN

En 1985, se logró, por primera vez, enfriar átomos alcalinos utilizando luz láser. Con este mecanismo se obtuvo un gas de átomos (melaza óptica) con temperaturas del orden de 100 μK . Estos resultados concordaban con el modelo teórico, en que los átomos eran considerados con dos niveles energéticos, y se enfriaban por efecto Doppler. La temperatura más baja posible (Límite Doppler) también fue corroborada. En 1988, mediciones de la melaza óptica resultaron del orden de 10 μK , muy por debajo del límite Doppler. Este resultado obligó a la búsqueda de un nuevo modelo. Éste modelo, presentado por S. Chu, C. Cohen Tannoudji, y sus equipos, de forma independiente, considera: los subniveles del átomo, el desplazamiento luminoso, los gradientes de polarización y el bombeo óptico. Estos efectos combinados hacen que la energía del átomo dependa de su posición en la melaza. Como consecuencia, al atravesar la melaza, el átomo pierde más y más energía, por tanto, el gas se enfría. Este mecanismo recibió el nombre de “Enfriamiento Sisifo”.

PALABRAS CLAVES

Enfriamiento láser, enfriamiento Doppler, enfriamiento Sisifo, láser, Melaza Óptica, Nóbel 1997.

ABSTRACT

In 1985, at first time, it was possible to get cool atoms using laser light. With this mechanism they got a gas of atoms (optical molasses) at temperature of 100 μK . This facts was according with a theoretical model for atoms of two levels, which get cool

by Doppler effect. The experiment confirmed the lower temperature achieved by this mechanism (Doppler Limit). In similar experiments, in 1988, the optical molasses shown lower temperatures than Doppler limit: on the order of $10\ \mu\text{K}$. It needed a new theoretical model in order to explain these new results. The New model, presented by S. Chu & C. Cohen-Tannoudji, and their colleagues, considers: the atomic sublevels (Zeeman sublevel), the light shift, polarization gradient and optical pumping. The combination of these effects does that atom's energy depends of his position in the molasses. When the atoms travel through the molasses, they lose more and more energy, and then the gas gets cool. This new mechanism for laser cooling is named "Sisyphus Cooling".

INTRODUCCIÓN

En 1985, S. Chu, y sus colaboradores (Bell Laboratories, EUA) lograron enfriar átomos de sodio a temperaturas de $240\ \mu\text{K}$, mediante el uso de láseres (Enfriamiento Doppler).

Otros experimentos, hechos en 1988 por W. Philips y otros, mostraron que los átomos podrían ser enfriados hasta cerca de $40\ \mu\text{K}$; temperatura muy inferior a la predicha por el modelo del enfriamiento Doppler. Los equipos de S. Chu & C. Cohen-Tannoudji (École Normale Supérieure, Francia), trabajando de forma independiente, propusieron un nuevo modelo de enfriamiento para los átomos alcalinos: El enfriamiento Sísifo.

EL ENFRIAMIENTO DOPPLER

Veamos un modelo simplificado de un átomo alcalino¹, que se mueve en una sola dirección y el cual posee dos estados energéticos (base: b y excitado: e) distanciados por $\hbar \omega_A$, donde $\hbar$ es la constante de Planck y ω_A es la frecuencia natural del átomo (Fig.1).

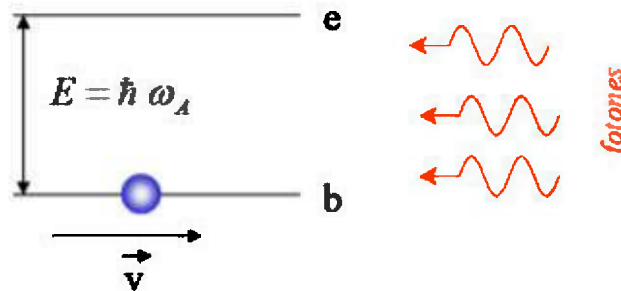


Fig.1. Modelo de átomo alcalino con dos niveles energéticos.

¹Es el tipo de átomo utilizado para estos experimentos, dadas sus propiedades asociadas con su electrón no apareado.

El enfriamiento láser consiste en “frenar” los átomos de un gas de átomos, usando los fotones que componen un haz láser. Puesto que la temperatura de un sistema depende de la rapidez de sus átomos componentes, al “frenar” éstos, la temperatura desciende.

Veamos el átomo de la Figura 1. Cuando colisiona con un haz de fotones que se mueven en sentido opuesto, si los fotones poseen la energía exacta para ser absorbidos, el átomo adquirirá su energía y su momentum. Después de un tiempo (≈ 10 ns), el átomo emitirá un fotón en una dirección aleatoria. Dado el carácter aleatorio del momentum de retroceso, y luego de varios ciclos de absorción-emisión, no se producirá un efecto mecánico neto sobre el átomo. Sin embargo, la absorción inicial producirá siempre una disminución de la velocidad, en la dirección del movimiento. Este proceso, equivale a frenar una bola de boliche usando un chorro de pelotas de ping-pong.

Como los átomos de un gas están en movimiento, el enfriamiento real ocurre por Efecto Doppler. Veamos un ejemplo para átomos en una dimensión.

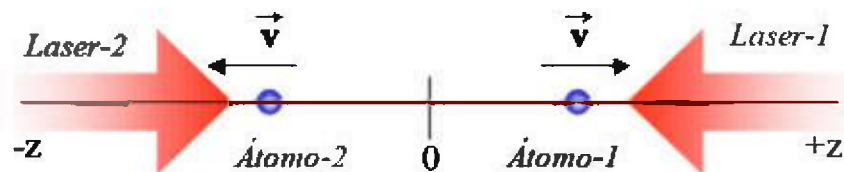


Fig. 2. Modelo unidimensional del enfriamiento Doppler.

En la situación mostrada en la Figura 2 utilizamos un par de láseres contrapropagantes de igual intensidad y frecuencia (ω_L), los cuales iluminan un gas de átomos alcalinos situados en la intersección de los mismos.

Como se muestra en la figura, los átomos que se desplazan a la derecha (átomo-1) “ven” que los fotones provenientes del láser-1, poseen una frecuencia (energía) mayor que la necesaria para la absorción, debido al movimiento relativo. Para lograr la absorción, se debe disminuir la frecuencia del láser. Lo mismo se aplica para el átomo que viaja a la

izquierda y el láser-2. ¿Puede el átomo-1 absorber fotones del láser-2? Es poco probable, ya que éste átomo “ve” que los fotones tienen una frecuencia menor que la necesaria para la absorción.

Luego de repetidos ciclos de absorción-emisión, los átomos reducirán sus velocidades. El resultado, es el llamado Enfriamiento Doppler.

S. Chu y sus colegas utilizaron un sistema semejante al que hemos explicado, pero en tres dimensiones. Es decir, utilizaron 3 pares de láseres contrapropagantes (Fig. 3). Los átomos enfriados y contenidos en la intersección de los láseres, forman lo que se conoce como *Melaza Óptica*.

La temperatura de este sistema es del orden de los 100 μK y concuerda con la temperatura mínima predicha por los cálculos teóricos, llamado Límite Doppler. Teóricamente, el límite Doppler (T_D) está dado por $k_B T_D = \hbar \Gamma / 2$, donde k_B es la constante de Boltzman y Γ es el ancho natural del estado excitado.

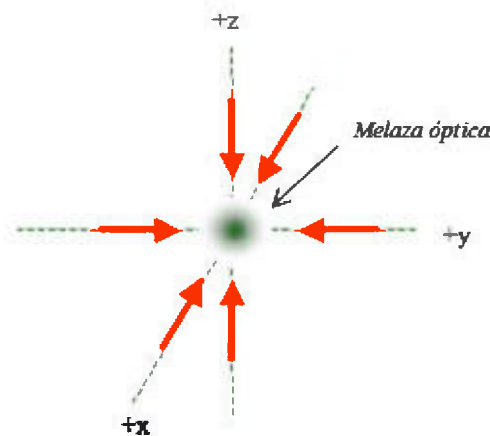


Fig. 3. Esquema de una Melaza óptica tridimensional.

En 1988, se encontró que las melazas ópticas podían alcanzar temperaturas del orden de 10 μK ; muy por debajo del límite Doppler. Se requería de otro modelo acorde a estos datos.

EFFECTOS CONEXOS

¶El mecanismo que permite alcanzar temperaturas del orden de 10 μK , involucra algunos procesos relacionados con las interacciones átomos-luz, y del comportamiento de la luz láser.

1. Desplazamiento Luminoso (Ligth Shift)

Consiste en el desplazamiento de los niveles energéticos del átomo al interactuar con un campo electromagnético (creado por la luz láser) sin absorción de fotones.

Los átomos en un campo de luz láser (campo electromagnético) forman dos sistemas cuánticos que pueden interactuar si la frecuencia del láser (ω_L) y la frecuencia natural del átomo (ω_A) son iguales, y permiten la absorción de fotones. Sin embargo, si existe un desfase ($\delta = \omega_L - \omega_A$) entre ambas frecuencia, dicha interacción no es posible.

Ahora bien, existe otro mecanismo para que ambos sistemas interactúen, esto es por medio del Efecto Stark AC. Veamos: Un átomo en un campo eléctrico estacionario se polarizará y luego, su momento dipolar interactuará con el campo que lo indujo. En el Efecto Stark alterno tendremos una situación similar: El campo eléctrico es proporcionado por las ondas electromagnéticas del láser que polariza los átomos, y este mismo campo interactúa con el momento dipolar eléctrico de éstos. En este caso, el campo es oscilante o alterno, dando por resultado una interacción alterna, también.

El resultado medible del Efecto Stark AC, es el desplazamiento de los niveles energéticos del átomo. Cálculos teóricos muestran que éste desplazamiento energético (ΔE), llamado desplazamiento luminoso², depende de algunas variables; matemáticamente $\Delta E \propto -C^2 \Omega^2 / 2 \delta$. Donde δ es el desfase, Ω es la Frecuencia de Rabí que es proporcional a la intensidad de la luz utilizada y C , son los coeficientes de Clebsch-Gordon, que indican la probabilidad de una transición (asociados con la polarización de la luz).

Como se ve, el ΔE puede ser positivo o negativo dependiendo del desfase δ , y que el mismo es simétrico para los niveles del átomo. En

² Desplazamiento Stark alterno (AC Stark Shift).
Tecnociencia, Vol. 7, N°1

la Figura 4 se muestra los niveles energéticos y los desplazamientos luminosos para desfases positivos y negativos.

La evidencia experimental muestra la relación entre la polarización de luz utilizada y el desplazamiento luminoso. Esto se debe a que la polarización del átomo y su interacción con el campo eléctrico dependen de la orientación (polarización) de dicho campo.

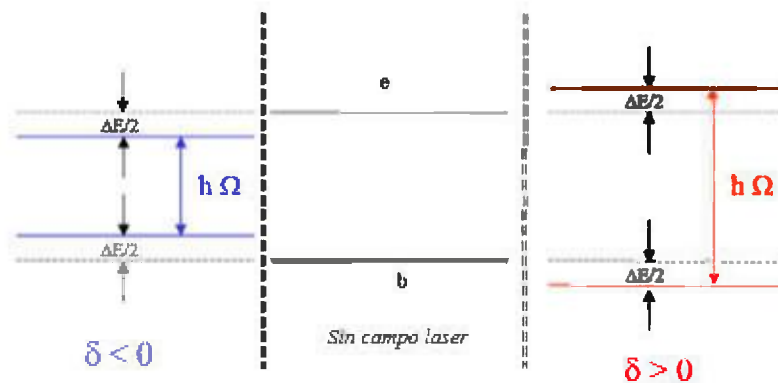


Fig. 4. Desplazamiento luminoso de los niveles de un átomo.

En la Figura 5 se muestra un esquema, basado en resultados experimentales, que muestra las curvas de absorción de los átomos de alcalinos sin el campo láser aplicado (a). Las curvas (b) y (c) muestran los desplazamientos cuando el campo láser está polarizado circularmente a la derecha (σ^+) y a la izquierda (σ^-), respectivamente.

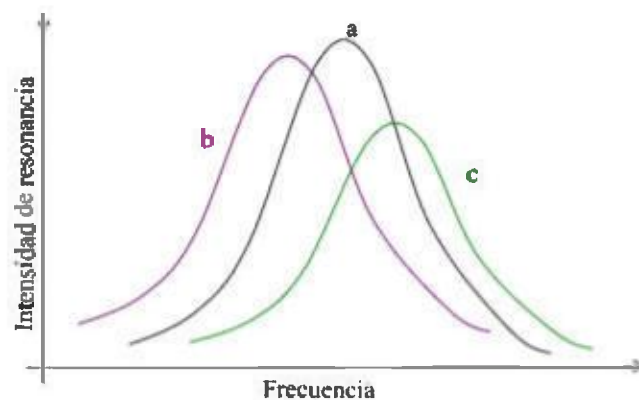


Fig. 5. Desplazamiento luminoso visto experimentalmente.

Matemáticamente, ΔE depende de los coeficientes de Clebsch-Gordon, y éstos de la orientación de la luz. En la Figura 6 se muestra estos coeficientes y la polarización de la luz, para distintas transiciones. La "L" se refiere a la polarización lineal.

2. Bombeo Óptico (Optical Pumping)

Este bombeo, consiste en hacer que una población de átomos de un gas, posea la misma proyección del momentum angular total. Esto se logra a través de ciclos de absorción-emisión, durante los que los fotones, polarizados circularmente, transmiten su momentum angular a los átomos.

Por ejemplo, veamos las transiciones entre un nivel base (b) y otro excitado (e) de un átomo. El primero, posee un momento angular total $J = 1/2$, mientras que en el estado excitado $J = 3/2$. En la Figura 6 se muestran estos niveles y los respectivos subniveles, que corresponden a las distintas orientaciones de los momentos angulares, respecto a un eje dado.

Consideremos un átomo en reposo en el subnivel $b_{+1/2}$. Cuando este átomo se ilumina con luz de frecuencia ω_A y con polarización izquierda (σ^-), "salta" al nivel excitado, y adquiere una unidad de momentum angular con proyección negativa ($-1 \hbar$).

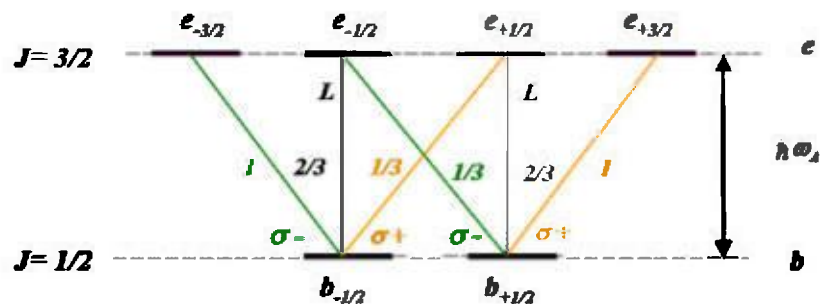


Fig. 6. Transiciones posibles entre el nivel base y excitado con distinto momentum angular. Los números mostrados representan los cuadrados de los coeficientes de Clebsch-Gordon.

Por tanto, ocupa el subnivel $e_{1/2}$. Luego, puede emitir un fotón con polarización lineal (sin momentum angular) y decaer al subnivel $b_{1/2}$ (si el átomo emite un fotón que lleve el momentum angular adquirido, caerá en $b_{+1/2}$, donde absorberá otro fotón σ^- y tendrá otra oportunidad para llegar a $b_{1/2}$). Una vez en el sub-nivel $b_{1/2}$ los fotones σ^- sólo podrán excitarlo a $e_{3/2}$, de donde caerá, nuevamente, a $b_{1/2}$. Por otro lado, los átomos inicialmente en $b_{1/2}$, sólo pueden excitarse a $e_{3/2}$ y de allí, caer en $b_{1/2}$.

Aplicando esto a un gas de átomos, podremos tener una población que, en estado estacionario, se encuentre en $b_{1/2}$. Se dice que se ha realizado un bombeo óptico hacia $b_{1/2}$. Se podría hacer un bombeo similar hacia $b_{+1/2}$, utilizando fotones σ^+ .

3. Gradientes de polarización

En nuestro caso, consiste en la formación de ondas estacionarias con polarizaciones diferentes, para distintas posiciones a lo largo de la misma.

Por simplicidad, aquí analizaremos el caso unidimensional del gradiente de polarización. Así, nos basta contar con dos fuentes de luz láser, como los de la Figura 2. Con este arreglo, podemos generar ondas estacionarias con un gradiente de polarización, utilizando dos haces de luz polarizados linealmente y perpendiculares entre sí (Fig. 7)³.

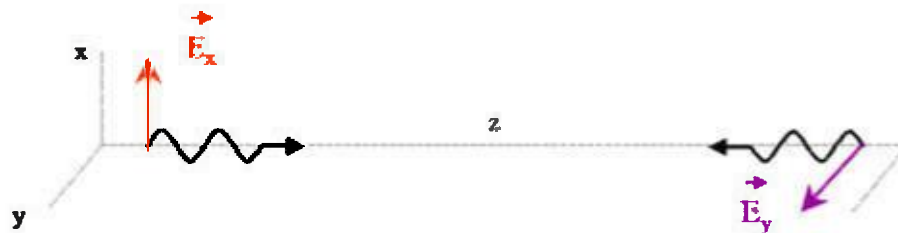


Fig. 7. Dos mecanismos para una onda estacionaria con gradiente de polarización.

Superponiendo las ondas, se obtiene una onda estacionaria como en la Figura 8. En este esquema, se muestran las diferentes polarizaciones en los diversos puntos de la onda, y el carácter periódico de las mismas. Observe que existe un cambio de polarización cada $\lambda/8$.

³También podríamos usar dos fuentes con polarizaciones circulares contrarias.

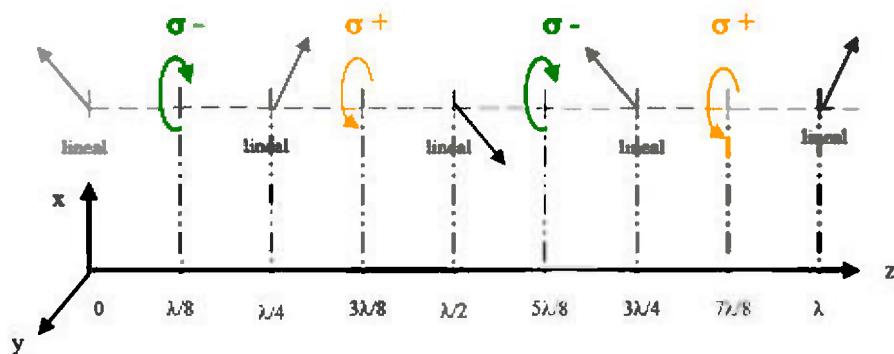


Fig. 8. gradiente de polarización de una onda electromagnética estacionaria.

EL ENFRIAMIENTO SÍSIFO

Los átomos, en el campo electromagnético formado por la intersección de los láseres, experimentan una combinación de los efectos antes descritos.

Primero, consideremos un gas unidimensional de átomos en reposo, en un campo de luz láser, donde se establece un gradiente de polarización como el discutido anteriormente. En la Figura 9 se muestra las condiciones de los subniveles atómicos situados en diferentes posiciones del campo láser. En nuestro análisis consideraremos un desfase positivo ($\delta > 0$) y sólo analizaremos el nivel de base (suponemos que los niveles excitados siguen un comportamiento similar) con momentum angular $J = 1/2$.

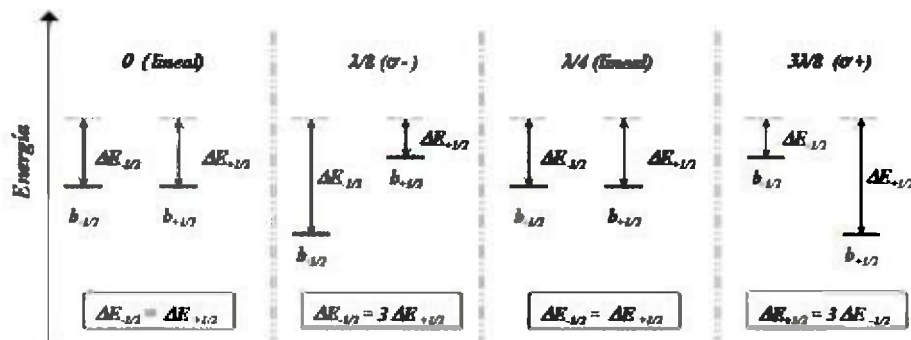


Fig. 9. Comportamiento de los subniveles de base de los átomos, en distintas posiciones del gradiente de polarización. Las líneas horizontales punteadas representan los subniveles sin desplazamiento luminoso.

Al inicio de una longitud de onda, los átomos son iluminados por luz con polarización lineal. Tal como se observa en la figura, los subniveles ($b_{+1/2}$ y $b_{-1/2}$) de los átomos experimentan el mismo desplazamiento luminoso ($\Delta E_{+1/2} = \Delta E_{-1/2}$). Por razones de simetría, esperamos que la población de átomos, se distribuya uniformemente entre estos subniveles.

En $\lambda/8$, los átomos están expuestos a luz con polarización izquierda (σ^-). Tendremos que el desplazamiento luminoso es tres veces mayor para el subnivel $b_{-1/2}$ que para el subnivel $b_{+1/2}$ ($\Delta E_{-1/2} = 3 \Delta E_{+1/2}$). Eso está indicado por los coeficientes de la Figura 6. Además de esto, los átomos en este punto, por bombeo óptico, son llevados al subnivel $b_{-1/2}$.

En $\lambda/4$, tendremos luz con polarización lineal; se repiten las condiciones iniciales.

En $3\lambda/8$, tenemos luz con polarización derecha (σ^+). El desplazamiento luminoso del subnivel $b_{+1/2}$ es tres veces mayor que para el subnivel $b_{-1/2}$ ($\Delta E_{+1/2} = 3 \Delta E_{-1/2}$). La población de átomos es bombeada al nivel $b_{+1/2}$.

Como se deduce, los tres efectos combinados, hacen que la energía de los átomos dependa de su posición dentro de la melaza óptica. En la Figura 10 se muestran como cambian los subniveles energéticos según la posición. Este grafico se puede obtener, uniendo las líneas azules (posición del subnivel $b_{-1/2}$) de la Figura 9, por medio de una curva continua; lo mismo puede decirse de las líneas rojas. Consideremos, ahora, que los átomos están en movimiento con cierta velocidad v , a lo largo del eje z , y que el bombeo óptico de la población de átomos tarda un tiempo finito t_p .

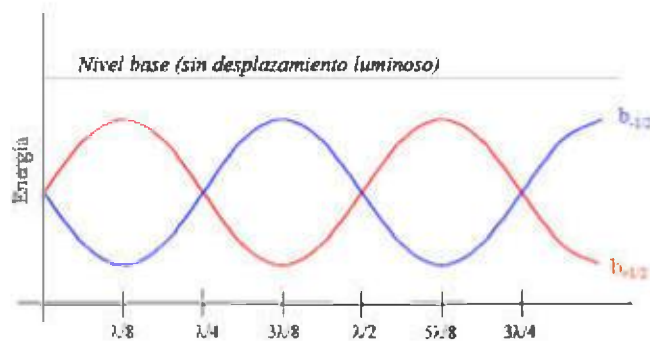


Fig.10. Variación de los subniveles de l nivel base en función de la posición.

Si la velocidad de un átomo le permite viajar una distancia $\lambda/4$, en el tiempo t_p , éste permanecerá prácticamente en el mismo subnivel, sin redistribuirse en los puntos donde la polarización es lineal.

En la Figura 11 se muestra la trayectoria que sigue un átomo en la melaza unidimensional (línea sólida), desde el punto de vista energético. Observe como, a través del bombeo óptico, el átomo pasa de un subnivel a otro, mientras emite fotones más energéticos (transición en verde), que aquellos que sirven para llevarlo al nivel excitado (transición violeta). De esta forma, luego de cada bombeo, el átomo pierde una cantidad de energía cinética (U_0), que se transforma en energía potencial, y luego se emite como un fotón. Entonces, el gas se enfía.

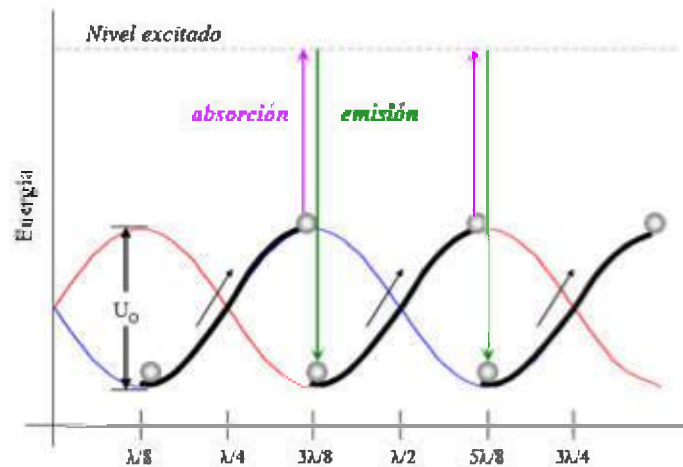


Fig. 11. Esquema de enfriamiento Sisifo en una dimensión.

Otra forma de ver este proceso, es suponer que el átomo comienza su recorrido en un valle de potencial de profundidad U_0 , luego alcanza la cima de una colina y de allí es bombeado a otro valle donde se repite el proceso. Conforme avanza de una colina a otra, el átomo pierde cada vez más energía cinética. Para los átomos en la melaza, el efecto neto, es un enfriamiento gradual del gas.

En la mitología griega, Sisifo fue condenado a rodar una enorme piedra hasta lo alto de una montaña, luego dejarla rodar cuesta abajo, desde donde debía llevarla a la cima, y así por toda la eternidad. Algo similar le ocurre al átomo, de allí el nombre: “Enfriamiento Sisifo”.

A diferencia de Sisifo, nuestro átomo no puede perder energía de manera indefinida. En efecto, debido al retroceso de los átomos al emitir fotones, se impone un límite a la temperatura que se puede alcanzar con este mecanismo. Cálculos teóricos demuestran que la temperatura límite que se puede alcanzar (T_{sis}) es del orden de $T_{\text{sis}} \approx E_R/k_B$. Donde la energía de retroceso (E_R) es del orden de U_0 .

CONCLUSIONES

La manipulación de átomos utilizando luz láser o fotones, ha tenido un importante auge en los últimos años. Producto de los importantes avances en el campo de enfriamiento láser y de la comprensión de los mecanismos que involucra, en 1997, se otorgo el premio Nobel de Física a Steven Chu (USA), Claude Cohen-Tannoudji (Francia) & William Phillips (USA), “por el desarrollo de métodos para enfriar y atrapar átomo con luz láser”. Sin lugar a dudas, estamos presenciando el establecimiento de las bases para el desarrollo de nuevas tecnologías y un número importante de aplicaciones.

REFERENCIAS

- Bloom, S. 1960. “Optical Pumping”. *Scientific American*.
- Cohen-Tannoudji, C. & W. Phillips. 1990. “New Mechanism for Laser Cooling”. *Physics Today*.
- Cohen-Tannoudji, C. 1998. “Manipulating atoms with photons”. *Rev. Mod. Phys.*, Vol 70, No.3.
- Cohen-Tannoudji, C., J. Dalibard & D. Wineland. Enero, 1992. “Sisyphus cooling of a bound atom”. *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol 9, No.1.
- Corwin, K.L. 1999. Tesis de Doctorado. JILA, Universidad de Colorado. EUA.
- Dutta, S. & N. Morrow. 2001. “Optical lattices”. <http://personal.physics.lsa.umich.edu/raithel/lattice.htm>.

Guzmán, A. M. 1997. "Noticias de la Física: Premio Nobel 1997". *Momento*, 14-15.

Kastler, A. 1967. "Optical methods for studying hertzian resonances". *Science*, Vol 158, p 214.

Rawat, H.S. 1998. "Laser Cooling and Trapping of Neutral Atoms". *Laser News*, Vol 9, No 4.

Walter K., J.M. 2000. Tesis de Maestría. Universidad de Otago. Dunedin, Nueva Zelanda.

Recibido agosto de 2003, aceptado diciembre de 2003.

***Rivulus hartii* (Boulenger 1890) (Cyprinodontiformes: Rivulidae):
ESPECIE DE PEZ DULCEACUÍCOLA AMENAZADA EN LA
ISLA DE MARGARITA, VENEZUELA**

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

**Mauro Nirchio¹, Juan A. Gómez H.², Claudio Oliveira³, Ernesto Ron¹,
Mauro J. Nirchio¹, y José Villaroel¹**

¹Escuela de Ciencias Aplicadas al Mar, Universidad de Oriente, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela.

²Departamento de Biología Marina, Universidad de Panamá.

³Departamento de Morfología, Instituto de Biociências, Univeridade Estadual Paulista, Sao Paulo, Brasil.

E-mail: ¹nirchio@hotmail.com, ²juanay@ancon.up.ac.pa, ³claudio@ibb.unesp.br

Margarita es una isla de 1.701 km² de superficie y está localizada en el Noreste de Venezuela entre las coordenadas 10° 51' 50" - 11° 11' 06" latitud norte y 63° 40' 40" - 64° 24' 32" longitud oeste. El Ministerio del Ambiente de Venezuela, en su Atlas del Estado Nueva Esparta (MARNR 1994), describe las condiciones climáticas del territorio insular, indicando que la mayoría de los cursos de agua naturales existentes, permanecen secos durante la mayor parte del año, exceptuando el periodo de lluvias. Las únicas corrientes que permanecen activas, al menos en la porción superior de sus cuencas son los ríos La Asunción, El Valle, San Juan, Cupeicillo de Tacarigua y La Aguada de Pedro González, los cuales tienen su origen en las partes altas de las montañas del Copey y Matasiete, debido a la frondosa vegetación que reduce la excesiva evaporación y contribuye a la condensación de la humedad ambiental.

El río La Asunción nace en las partes altas del cerro El Copey a una altura aproximada de 400 metros sobre el nivel del mar. Durante su curso, este cruza el pueblo de la Asunción hasta unirse al río Matasiete y desemboca en la Laguna de Guacuco. La ictiofauna del río La

Asunción es escasa y se encuentra representada solamente por *Rivulus hartii* (Fig. 1), compartiendo su hábitat con tres especies de crustáceos, que incluyen a los camarones dulceacuícolas *Macrobrachium olfersi* y *M. carcinus*, además del cangrejo *Eudaniela garmani* (Fig. 2), cuyas poblaciones persisten debido a la presencia de charcos aislados que mantienen el agua por filtración subterránea y que solamente se interconectan en la época de lluvias.



Fig 1. *Rivulus hartii* de la localidad del Río la Asunción.



Fig. 2. Ejemplares de *Macrobrachium olfersi* (a) y *Eudaniela garmani* (b) del río La Asunción.

En la cuenca alta del río La Asunción existe un pequeño sistema de acueductos que provee agua para el consumo humano durante todo el año al sector el Copey de La Asunción (MARNR 1994). Sin embargo, la actividad antropogénica creciente en la serranía El Copey ha originado la instalación de una gran cantidad de tomas ilegales en las partes altas de la cuenca del río, las cuales obstaculizan que el agua alimente el curso natural apropiadamente, constituyendo una seria amenaza para la fauna acuática de este río. Además, la situación se ve

empeorada por la explotación indiscriminada e ilegal de camarones y cangrejos, los cuales son consumidos por los residentes locales, añadiendo un factor de presión adicional que, inevitablemente, pudiera conllevar a la extinción de la biodiversidad de este ecosistema fluvial si no se adoptan las medidas necesarias inmediatamente. Según Musick (1999) *“Las especies que son endémicas o que se encuentren restringidas a un rango relativamente pequeño, o entidades geográficas contiguas como islas, archipiélagos, sistemas de ríos, etc, en los que el hábitat es o puede estar amenazada por degradación o destrucción, debería ser clasificado como vulnerable. Donde pueda ocurrir o esté ocurriendo pérdidas significativas del hábitat, tales especies deben ser clasificadas como amenazadas o en peligro”*. Este es el caso para la población aquí reportada, razón por la cual consideramos imperativo adoptar acciones concretas para resolver el problema.

En este orden de ideas y con la intención de aportar información que pueda ser de utilidad a los organismos competentes encargados de velar por la salvaguarda de la Biodiversidad venezolana, presentamos información detallada que pueda ser utilizada para sentar las bases de un plan de control y conservación que garantice proteger la biodiversidad acuática del río La Asunción.

Nombre común: Sapito (Español), Giant rivulus (Inglés), Jumping guabine (Inglés).

Estatus de Conservación del Recurso: Localmente amenazado.

Identificación: Aleta anal con 13 o más radios blandos; 6 a 8 filas de puntos rojizos en los lados del cuerpo que se distribuyen desde el borde opercular hasta la aleta caudal; los machos adultos alcanzan tallas superiores a los 6 cm; los machos son de una coloración corporal ligeramente azul verdosa y poseen una coloración anaranjada o amarillo brillante en la aleta dorsal y márgenes ventrales de la aleta caudal. La aleta caudal posee una raya blanca interna y una raya amarilla exterior que distinguen la porción dorsal y ventral. Las hembras se diferencian por su coloración corporal marrón castaño con su característico punto negro en la porción superior del pedúnculo de la aleta caudal. Existe una pequeña diferencia en el tamaño entre los sexos.

Distribución y Abundancia: La evaluación de la distribución y abundancia de la especie a lo largo del arroyo del Cerro Copey en la isla de Margarita, para conocer el status poblacional en un trayecto desde los 86 m.s.n.m. hasta los 338 m.s.n.m; reveló que esta población no supera en esa extensión los 293 individuos, con una media de 36.6 ± 29.5 individuos por cada charca (Cuadro 1).

Cuadro 1. Recuento del número de individuos en doce estaciones en un trayecto a lo largo del río La Asunción.

Estación	Elevación (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Número de Individuos
1	86	11 01 45.4	63 52 58.1	0
2	100	11 01 37.2	63 53 106	0
3	133	11 01 29.8	63 53 14.7	0
4	164	11 01 22.9	63 53 14.7	9
5	165	11 01 21.6	63 53 15.0	9
6	171	11 01 21.8	63 53 14.2	21
7	179	11 01 19.6	63 53 15.6	39
8	214	11 01 15.1	63 53 15.1	52
9	234	11 01 12.4	63 53 25.8	24
10	278	11 01 09.0	63 53 15.1	99
12	326	11 01 04.6	63 53 17.3	40

El promedio de la longitud estándar, calculado con base en 39 individuos seleccionados aleatoriamente, fue $46.08 \text{ mm} \pm 17.01 \text{ mm}$ con una longitud mínima de 16,58 y un máximo de 72,35 mm. La poca abundancia de individuos de pequeña talla, hace suponer que la población no se está reproduciendo adecuadamente, al menos durante el periodo en que se realizó este estudio.

Hábitat y Ecología: La especie ocurre al pie de cascadas, en los arroyos y pequeños estanques, (Fig. 3). No es un pez estacional y es fácil mantenerlo en acuarios. Se ha observado que estos peces son capaces de cazar insectos que cuelgan de la vegetación saltando fuera del agua; así como también se les ha visto desplazándose pequeños trayectos en tierra para ingerir insectos en zonas húmedas. Son Ovíparos, principalmente omnívoros y pueden alimentarse cada cinco horas de acuerdo a algunos estudios. Es un depredador de guppies en los arroyos donde se excluyen otros peces predadores, lo cual explica la ausencia de peces del género *Poecilia*, en las charcas donde se encontró *R. hartii*.

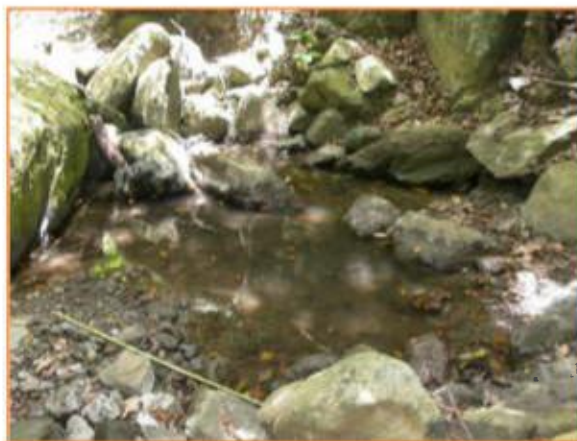


Fig. 3. Charcas en las que se encuentra *R. hartii* en el río La Asunción, durante la estación seca.

Citogenética: A fin de contar con información citogenética sobre la especie se obtuvieron preparaciones cromosómicas de dos ejemplares, mediante la técnica de secado al aire descrita por Bertollo et al (1978). Se reveló un cariotipo $2n = 44$, compuesto de 2 cromosomas metacéntricos, 4 submetacéntricos, 8 subtelocéntricos y 30 acrocéntricos (Fig. 4). Datos no publicados recolectados por Murphy & Collier (1996) para discutir las relaciones filogenéticas entre especies del género *Rivulus* indican que los miembros del grupo Colombo-Centroamericano posee todos un complemento $2n = 46$, con la excepción de *R. uroflammeus* ($2N = 44$). Estos cariotipos están caracterizados por cromosomas de tamaño relativamente uniforme y una alta proporción de elementos metacéntricos, mientras que los miembros del grupo de Venezuela / Guyanas son todos $2N = 44$ y los cariotipos se caracterizan por su gran variación en el tamaño de sus elementos y la baja proporción de elementos metacéntricos. Un par de cromosomas submetacéntricos, fácilmente distinguibles, son compartidos por *R. cryptocallus* y *R. slagnatus*. De los dos peces endémicos de las grandes antillas, *R. roloffi* posee un complemento diploide $2N = 44$ y *R. cylindraceuss* $2N = 48$ (Scheel 1972).



Fig. 4. Cariotipo de *Rivulus hartii* del Río La Asunción en la Isla de Margarita, Venezuela.

Amenazas: En el río La Asunción, esta especie se encuentra bajo considerable presión debido a la intensidad de diversas actividades antropogénicas, incluyendo la construcción de represas en los cursos naturales, la colocación de tomas ilegales de agua y la degradación del hábitat.



Fig. 5. Toma ilegal de agua en el Río La Asunción (a). Lecho del río La Asunción totalmente seco por falta de agua (b).

Acciones de conservación a adoptar: Si no se procede a la implementación de acciones concertadas por los diferentes entes involucrados en la utilización y manejo de estos cuerpos de agua, la extinción de esta especie y de las de crustáceos existentes parece

inevitable debido a la presencia de presiones ambientales y a la extracción irracional del agua de los manantiales que suplen la corriente del río (Fig. 3). Esta información debe usarse para desarrollar una estrategia de conservación por parte del Ministerio del Ambiente e Imparques en Venezuela, a fin de mantener y mejorar las poblaciones de estos organismos acuáticos a través de la rehabilitación del hábitat degradado, protección de las poblaciones existentes y mejorar la utilización del recurso agua mediante la implementación de un plan de manejo y supervisión adecuado.

Comentario: Esta es la única especie de pez que habita en estos arroyos por lo que es urgente la implementación de un programa para su rehabilitación y protección.

REFERENCIAS

- Bertollo, L.A.C., C.S. Takahashi & O. Moreira-Filho. 1978. Cytotaxonomic considerations on *Hoplias lacerdae* (Pisces, Erythrinidae). *Rev. Brasil. Genet.* 1: 103-120.
- Breder, C.M. & D.E. Rosen. 1966. Modes of reproduction in fishes. T.F.H. Publications, Neptune City, New Jersey. 941 p.
- Carvalho, G.R. & T.F. Cross. 1998. Enhancing fish production through introductions and stocking: genetic perspectives. In: Cowx, I.G. (Ed.), *Stocking and Introduction of Fish*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, pp. 329±338.
- Collares-Pereira, M.J., A.M. Pires, M.M. Coelho & I.G. Cowx. 1998. Towards a conservation strategy for *Anaocypris hispanica*, the most endangered non-migratory fish in Portuguese streams. In: Cowx, I.G. (Ed.), *Stocking and Introduction of Fish*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, p. 437±449.
- Collier, G. E., M. Espinoza & W. J. Murphy. 1998. Forensic Phylogenetics of *Rivulus* *Journal of the American Killifish Assoc.* 31(2) 35-41.
- Costa, W. J. E. 1998. Phylogeny and classification of Rivulidae revisited: Origin and evolution of annualism and miniaturization in

rivulid fishes (Cyprinodontiformes: Aplocheiloidei). J . Comp. Biol. 3(1):33-92.

Huber, J.H. & Killi-Data. 1996. Updated checklist of taxonomic names, collecting localities and bibliographic references of oviparous Cyprinodont fishes (Atherinomorpha, Pisces). Société Française d'Ichtyologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France, 399 p.

Kenny, J.S. 1995. Views from the bridge: a memoir on the freshwater fishes of Trinidad. Julian S. Kenny, Maracas, St. Joseph, Trinidad and Tobago. 98 p.

Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables de Venezuela (MARNR). 1994. Atlas del Estado Nueva Esparta, Isla Margarita Venezuela.

Murphy W., J. & E. Glen Collier. 1996. Phylogenetic Relationships Within the Aplocheiloid Fish Genus *Rivulus* (Cyprinodontiformes, Rivulidae): Implications for Caribbean and Central American Biogeography Mol. Biol. Evol. 13 (5): 642-649.

Musick, J. A. 1999. Criteria to Define Extinction Risk in Marine Fishes. The American Fisheries Society Initiative. Fisheries, . 24 (12): 6-14.

Robins, C.R., R.M. Bailey, C.E. Bond, J.R. Brooker, E.A. Lachner, R.N. Lea & W.B. Scott. 1991. World fishes important to North Americans. Exclusive of species from the continental waters of the United States and Canada. Am. Fish. Soc. Spec. Publ. (21):243 p.

Seghers, B.H. 1978. Feeding behavior and terrestrial locomotion in the cyprinodontid fish, *Rivulus hartii* (Boulenger). Verh. Internat. Verein. Limnol. 20:2055-2059.

Recibido octubre de 2004, aceptado diciembre de 2004.



IMPORTANCIA DEL BOSQUE PARA EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO FORTUNA

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Jorge Arturo Mendieta B.

Universidad de Panamá. Departamento de Botánica.

E-mail: mendija@cwpanama.net

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico Fortuna se encuentra en una Reserva Forestal, que fue creada en 1976. Este es un proyecto de gran importancia para el país ya que tiene la capacidad instalada para generar 300 MW (23 % de la capacidad Nacional). Los bosques de la Reserva Forestal son importantes para el Proyecto Hidroeléctrico ya que protegen los suelos de la cuenca hidrográfica contra la erosión, mantienen la capacidad de almacenamiento de agua del embalse, aportan agua al embalse a través de la precipitación horizontal y contribuyen en la regulación del caudal del río Chiriquí. La importancia de estos bosques ha sido reconocida desde el inicio del Proyecto Hidroeléctrico, por lo que se ha realizado un esfuerzo sostenido para su manejo y conservación. El resultado se refleja un embalse poco afectado por la sedimentación, manteniendo su capacidad de almacenamiento de agua.

PALABRAS CLAVES

Bosque nublado, cuenca hidrográfica, embalse, erosión, Hidroeléctrica, precipitación horizontal, sedimentación, Reserva Forestal.

ABSTRACT

The Fortuna Hydroelectric Project is located in the Fortuna Forestry Reserve, created in 1976. This is an Hydro - Project very important to Panama, because it has capacity to generate 300 MW (23 % of the national capacity). The forests of the Forestry Reserve are important to the Hydro - Project, because those protect the soils of the watershed against the erosion, keep the storage capacity of the dam, input water from horizontal precipitation and regulate the Chiriquí river discharge. The importance of these forests have been recognized from the beginning of the Hydro -

Project, and the administration has made a lot of effort to management and conservation. The result has been a dam without sedimentation problem.

KEYWORDS

Cloud forest, watershed, dam, erosion, hydroelectric, horizontal rain, sedimentation.

INTRODUCCIÓN

El proyecto hidroeléctrico Fortuna consiste en el represamiento del Río Chiriquí, en su parte alta, creando una capacidad generadora de 150 MW, en la actualidad tiene una capacidad instalada de 300 MW. Este es un proyecto que tuvo sus orígenes a mediados de la década de los años 70, como respuesta a las necesidades energéticas del país. La zona en que se localiza este proyecto se encuentra rodeada de bosques nublados poco perturbados, que desde un inicio fueron declarados Reserva Forestal. En la actualidad, después de 28 años y con fuertes presiones sobre las tierras vecinas para producir alimento, la creación de la Reserva Forestal nos lleva a una pregunta: ¿Qué importancia tienen estos bosques, para el Proyecto Hidroeléctrico Fortuna y para el desarrollo nacional?

El presente escrito tiene como objetivo exponer algunas de las razones por las cuales los bosques de la Reserva Forestal Fortuna, son importantes para el proyecto hidroeléctrico.

La importancia del bosque se basa en las influencias de éste sobre el clima, suelo y el régimen hidrológico de la cuenca hidrográfica. Como resultado, se observa que las influencias de estos bosques, justifican la creación de la Reserva Forestal Fortuna, ya que de la protección de éstos depende la utilidad del proyecto hidroeléctrico a largo plazo.

EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO FORTUNA

Este proyecto hidroeléctrico se localiza en la parte alta de la cuenca del Río Chiriquí, en el Distrito de Gualaca, Provincia de Chiriquí. Consiste en una represa con un embalse de 1,050 hectáreas de espejo de agua o superficie y se encuentra formando parte de una cuenca hidrográfica de aproximadamente 20,000 ha. La superficie de la cuenca hidrográfica que no forma parte del embalse, se encuentra cubierta casi en su totalidad de bosque (19,000 ha).

Los bosques de la cuenca hidrográfica, que abastecen de agua al embalse del Proyecto, han sido declarados como área protegida en la categoría de Reserva Forestal. La Reserva Forestal Fortuna tiene respaldo legal mediante el Decreto Ejecutivo N° 68, del 21 de septiembre de 1976. El Proyecto Fortuna tiene una capacidad instalada para generar 300 MW, lo cual representa el 23 % de la capacidad instalada en el país.

LOS BOSQUES DE LA RESERVA FORESTAL FORTUNA

Los bosques de la Reserva Forestal se localizan en una zona, que de acuerdo al sistema de clasificación del clima de Köppen, se clasifican como “clima templado muy húmedo de altura” (Cfh). La clasificación del clima en esta categoría se basa en que el rango de temperatura media anual es de aproximadamente 16 °C, explicada por el efecto de la velocidad del viento (Adames 1977). Aunada a la temperatura, la precipitación mayor a los 4,000 mm anuales, influye en la clasificación del clima de la Cuenca (Castillo 2004). Esta zona, en forma similar a los terrenos que se localizan sobre los 2,000 msnm, presentan un alto grado de nubosidad. La frecuente nubosidad del área, se traduce en temperaturas bajas, alta humedad relativa, abundante condensación sobre la vegetación y frecuentes lloviznas (Samudio 2001).

Según el sistema bioclimático de Holdridge, los bosques de la Reserva Forestal Fortuna se encuentran en la Zona de Vida: bosque pluvial Premontano. En esta Zona de Vida los bosques, en condiciones naturales presentan un dosel de hasta 30 m de altura, con una gran diversidad de especies vegetales y abundantes epifitas sobre los árboles (Holdridge 1996). Los bosques aquí localizados, se clasifican como *bosques nublados*, de acuerdo a las características del clima y especialmente la alta nubosidad (Kapelle 1996).

Como resultado de la creación y protección eficiente de la Reserva Forestal Fortuna, el Proyecto Hidroeléctrico se encuentra libre de los problemas potenciales por la eliminación de la cobertura boscosa: erosión y sedimentación (Adames 2004).

INFLUENCIA DE LOS BOSQUES SOBRE EL EMBALSE

Los bosques nublados tienen influencias notables sobre las características de la cuenca hidrográfica en que se encuentran. En el caso de la cuenca hidrográfica en que se ubica el Proyecto Fortuna, las

influencias de la vegetación (sobre el suelo, precipitación y régimen hidrológico), son determinantes para la vida útil del embalse y el funcionamiento de la hidroeléctrica. Es importante por lo tanto, que conozcamos los mecanismos o formas en que el bosque influye para evitar los problemas potenciales y lograr un uso óptimo de los recursos hídricos.

La vida útil del embalse

Es necesario tener presente que, cuando se construyen embalses se determina su vida útil (tiempo de funcionamiento) para prever su rentabilidad. En el caso del embalse Fortuna, de acuerdo al contrato de concesión para generación hidroeléctrica, se estima una vida útil de más de 100 años. En este sentido se debe tener cuidado, en el manejo de la cobertura boscosa de la cuenca hidrográfica, y la protección del suelo. Existen ejemplos dramáticos como el caso de la Presa Harding de California, la cual se sedimentó con los efectos de una sola lluvia de 24 horas. Otro caso es el de la presa en el río Umatil, en Oregón, que se sedimentó en el curso de 16 años. En ambos casos, la vida útil se había proyectado para más de 100 años, en consecuencia las pérdidas económicas y de esfuerzo realizados son lamentables (Mendieta 1980).

La vida útil del embalse Fortuna está íntimamente ligada a los problemas de erosión de los suelos de la cuenca y en consecuencia a la cantidad de sedimentación. Los bosques de la Reserva Forestal Fortuna actúan de dos maneras, para proteger los suelos: absorben la energía cinética de las gotas de lluvia en el follaje del dosel y favorecen la capacidad del suelo de absorber agua, por filtración.

La copa de los árboles retiene hasta el 90 % de la precipitación, permitiendo luego que parte del agua descienda por las ramas y tallos hasta el suelo. De esta forma se minimiza el golpe de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, produciéndose muy poca erosión y escorrentía superficial. El resultado observable es que, aún cuando esté lloviendo el agua del río y riachuelos es limpia: traduciéndose en poco aporte de sedimentos. Como se ha dicho anteriormente, la conservación de los bosques en esta cuenca hidrográfica ha permitido que el embalse no haya perdido su capacidad de almacenamiento en forma significativa (Adames 2004). Por lo que se considera que **el proyecto se encuentra saludable.**

Las precipitaciones en la reserva forestal fortuna

A la pregunta ¿La presencia del bosque aumenta la lluvia?, no existe una respuesta categórica. Algunos investigadores dicen que sí hay influencia del bosque en la cantidad de lluvia de un lugar determinado. Sin embargo, aquellos que se muestran contrarios sostienen que la influencia es poca y no significativa. Para que la influencia sea significativa, debe tratarse de un bosque de superficie inmensa (como ejemplo el bosque amazónico) y que no tenga influencia oceánica u orográfica. En todo caso, las lluvias en la Reserva Forestal Fortuna son de tipo orográficas, influenciadas por el régimen de lluvias de la Vertiente Atlántica y los vientos alisios. En promedio, la precipitación anual es superior a los 4,000 mm en toda la superficie de la cuenca delimitada por el embalse.

A pesar que la cuenca superior de río Chiriquí descarga sus aguas hacia el Pacífico, el régimen de las lluvias está influenciado por el Atlántico. En la región llueve durante todo el año, sin que exista un periodo seco muy marcado. La Cuenca delimitada por la Represa Fortuna tiene forma de un embudo incrustado en la cordillera, por lo que los vientos cargados de humedad entran y descargan las lluvias sobre Ella. Si bien es cierto estas lluvias tienen origen orográfico, existe una condición especial en los bosques de la Reserva. Estos bosques se mantienen cubiertos de nube durante gran parte del día, produciéndose la condensación de las nubes al chocar con las ramas de los árboles, fenómeno conocido como *precipitación horizontal*.

El término científico de *precipitación horizontal* se define como condensación de pequeñas gotas de agua o neblina que son interceptadas por la vegetación y de las que proviene un gran porcentaje de la precipitación total. La cantidad de niebla que toca y se mueve entre los árboles cargados de musgos y epífitas puede ser tal que el agua de la niebla comienza a gotear desde las hojas y también desde los musgos, por lo tanto añadiendo un volumen de agua que llega al piso del bosque, el *goteo de la niebla* o la *precipitación horizontal*. En algunos casos, la precipitación horizontal puede llegar a representar más del 15 % del total de lluvia en una región dada. Las nubes no solo mantienen estas montañas húmedas durante la estación seca, también se mantiene la humedad durante largos periodos de sequía.

Régimen hidrológico de la cuenca hidrográfica

Es bien conocido que, el bosque aporta materia orgánica al suelo producto de la descomposición de las hojas, ramas y raíces produciendo porosidad en el suelo. La materia orgánica en el suelo mejora la estructura de éste, dándole mayor estabilidad y resistencia a la erosión. Además, al aumentar la porosidad del suelo mejora su capacidad para filtrar el agua y evitar o disminuir la escorrentía superficial. Otra función importante, del bosque, es la extracción de agua del suelo aumentando la capacidad de éste de almacenar el agua de lluvia.

Una cuenca hidrográfica cuyos suelos favorezcan la filtración y el almacenamiento del agua de lluvia (precipitación), mantendrá un caudal regular durante todo el año. Esto significa que la descarga del río será similar durante los 12 meses del año, sin picos durante la época lluviosa (crecidas) y durante la época seca (ríos secos).

LA RESERVA HIDROLÓGICA FORTUNA Y SU CONSERVACIÓN

Desde su inicio, los administradores del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna se ha preocupado por la conservación de los bosques vecinos. Este interés es notorio, ya que antes de la construcción se realizó un estudio de impacto ambiental, para determinar entre otras cosas, la importancia del bosque a ser afectado por el Proyecto. Durante los 28 años de desarrollo del Proyecto se han realizado esfuerzos sostenidos para el manejo y conservación de la Reserva Forestal Fortuna. El resultado ha sido muy beneficioso para el Proyecto, ya que los niveles de sedimentación son bajos, por lo que la vida útil del embalse no se ha afectado en forma significativa.

REFERENCIAS

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

_____. 2001. Aspectos ambientales de la construcción de hidroeléctricas en Panamá: casos Bayano y Fortuna. Revista Societas N° 2: 7-20.

_____. 2004. La hidroeléctrica Edwin Fábrega (Fortuna): una experiencia en manejo de cuencas hidrográficas. *Revista Tecnociencia* 6 (2): 187-197.

Castillo, M. 2002. Auditoria y plan de adecuación y manejo ambiental del complejo hidroeléctrico Fortuna y su Reserva Forestal. *Revista Tecnociencia* 4 (1): 125-137.

De Fina, A. & A. Revelo. 1979. *Climatología y fenología agrícolas*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 351 p.

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

Kapelle, M. 1996. Los bosques de roble (*Quercus*) de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica: Biodiversidad, Ecología, Conservación y Desarrollo. *InBio*, Costa Rica. 319 p.

Mendieta, J. 1980. Problemas medio ambientales relacionados con la construcción de represas. *Revista Natura, Panamá*, 1 (2): 40-43.

Samudio, R. 2001. Panamá. En: *Bosques nublados del Neotrópico*. Eds. Kapelle, M. y Brown, A. *InBio*, Costa Rica. 371-395.

Recibido diciembre 2004, aceptado diciembre de 2004.



SPATIAL VARIATIONS OF CHLOROPHYLLS AND CAROTENOIDS IN THE GULF OF MONTIJO, PANAMA

ARTÍCULO DE COMUNICACIÓN CORTA

Carlos E. Seixas G.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

E-mail: carlosseix@hotmail.com

ABSTRACT

Spatial variations of chlorophylls and carotenoids in the gulf of Montijo were examined during November of 1998. Six stations were sampled at one inshore offshore transect extending from Puerto Mutis to Cébaco. Samples were taken at each station for chlorophylls a, b and carotenoids analysis. Both temperature and salinity increased from inshore stations to offshore stations. The salinity at Gobernadora station was 28.2 ppt whereas in Puerto Mutis was 0.1 ppt. Piñas and Puerto Mutis showed lower Secchi depths whereas high values were found at Cébaco. The mean values of chlorophylls a, b, total chlorophyll and carotenoids were 8.75, 17.25, 25.99 and 3.23 mg/m³ respectively. The highest values were found up-estuary and this spatial pattern was opposite to the temperature, salinity and Secchi depth patterns. Chlorophyll b concentrations were higher than chlorophyll a and the magnitude of the differences were higher up-stream than those down stream.

KEYWORDS

Gulf of Montijo, chlorophylls, carotenoids pigments, estuaries, phytoplankton.

RESUMEN

En noviembre de 1998 se efectuó un estudio con el propósito de determinar el contenido de clorofila y carotenoides de las aguas del Golfo de Montijo en el pacífico de Panamá. Se tomaron muestras en un transepto de seis estaciones de orientación norte-sur desde Puerto Mutis hasta la isla de Cébaco. En cada estación de muestreo se hicieron registros de temperatura y salinidad y transparencia así como también

análisis de clorofila a, b y pigmentos carotenoides. Tanto la temperatura como la salinidad se incrementaron hacia la boca del estuario. La salinidad en Gobernadora fue de 28.2 ppm mientras que en Puerto Mutis fue de 0.1 ppm. La profundidad de penetración del disco Secchi fue de 0.40 mt en el puerto mientras que en las cercanías de Gobernadora fue de 3.10 mt. Los valores promedio de clorofila a, b, clorofila total y carotenoides fueron 8.75, 17.25, 25.99 y 3.23 mg/m³ respectivamente. Los mayores valores se encontraron hacia el interior del estuario. La concentración de clorofila b fue mayor que la de clorofila a y la magnitud de la diferencia se acentúa hacia el interior del estuario.

PALABRAS CLAVES

Golfo de Montijo, clorofilas, pigmentos carotenoides, estuarios, fitoplancton.

INTRODUCTION

The estuaries are high productivity systems. Estuarine waters owe their productivity to the extraordinary amounts of nutrients that enter the estuary and to extensive recycling of nutrients between the overlying water and the biologically active bottom sediments. Freshwater drainage delivers large amounts of nutrients in dissolved and particulate form that subsidize phytoplankton productivity. A magnitude of physical, chemical and biological processes affect marine organisms in coastal areas and these processes operate over a range of spatial and temporal scales (Mann 1982; Lewis & Fish 1969; Yoshioka et al., 1985). French et al. (1983) suggested that the deep chlorophyll maximum in the oceans is related with the maximization of factors favouring growth and the minimization of loss factors. Several researches in the Caribbean region show that rainfall and river run-off affect inshore areas producing temporal and spatial changes in the dynamics of coastal waters and phytoplankton standing crops (Ryther 1956; Sourmia 1969; Sanders et al., 1987; Goldman & Mann 1980). Smayda (1966) reported a very stable seasonal succession of phytoplankton in the gulf of Panama were a decline in sea temperature and an increase in dissolved nutrients were followed by high abundances of chlorophyll a and phytoplankton. Kwiecinski & Chial (1983) reported higher concentrations of phosphate between November (30 mg-at/m²) and March (77 mg-at/m²). The major objective of this study was to evaluate the chlorophylls and carotenoids content in the waters of the Gulf of Montijo, Panama.

MATERIALS AND METHODS

The gulf of Montijo is located to the south of Veraguas on the Pacific of Panama (Fig. 1). The climate is typically humid tropical with precipitation over 2500 mm/year. The total length at the mouth of the estuary is about 27 km between Punta Brava and Punta Arenas and the maximum depth is 16 m. The inner part of the estuary is lined with either low or tall mangroves, backed by forests and grassy hills. There are well-defined dry and rainy seasons. Northeasterly winds become more intensive during the dry season, which lasts from early December to mid-March. During the rainy season, the typical daily weather pattern involves the formation of clouds by condensation during the early morning, the sky remaining cloudy through midday, a heavy shower in the mid or late afternoon and clearing during the night.

Samples for pigment analysis were obtained from six stations between Puerto Mutis and Cébaco island, during November 1998. At each station three 500 ml surface samples were taken for pigment analysis. Readings of temperature, salinity and light penetration were recorded using an YSI-30 Conductivity-Salinometer and a Secchi disk. Water samples for Chlorophylls a, b and carotenoids pigments were analyzed using the spectrophotometric technique proposed by Strickland and Parsons (1977) and the equations of Jeffrey and Humphrey (1975).

RESULTS

Hydrological patterns

Table 1 shows the vertical profile of temperature and salinity between surface and ten meters depth in six stations of the Gulf of Montijo. The mean for the estuary was 27.6 °C. The vertical variation at each point was less than 0.3 °C. Waters around Tres Islas and Perdomo displayed higher temperatures. The salinity profile was more variable relative to temperature. Offshore stations of Gobernadora and Punta Corotú showed higher values than the inshore stations of Puerto Mutis and Piñas and salinity increase with increasing depth. It is likely that the anomalous profile at Punta Corotú station reflects the influence of freshwater flow. Secchi depths increase from inshore to offshore stations. Lower Secchi depths were measured at Piñas station. This spatial pattern was opposite to the Chlorophyll pattern (Table 2).

Table 1. Vertical profile of temperature (°C), salinity (ppt) and secchi depth (S) in six sampling stations of the gulf of Montijo, November of 1998. I: Puerto Mutis, II: Pifias, III: Perdomo, IV: Tres Islas, V: Punta Corová, VI: Gobernadora.

Depth (mt)	I		II		III		IV		V		VI	
	°C	ppt	°C	ppt	°C	ppt	°C	ppt	°C	ppt	°C	ppt
1	26.3	0.1	26.8	0.8	28.6	16.3	28.6	21.7	28.2	26.1	27.7	28.2
2	26.3	0.1	26.7	0.8	28.5	16.6	28.5	22.0	28.2	26.1	27.8	28.3
3	26.3	0.1	26.8	1.0	28.5	16.8	28.4	22.3	28.2	26.1	27.8	28.4
4	26.3	0.1	26.7	1.0	28.5	17.0	28.4	22.5	28.2	26.1	27.8	28.4
5	26.3	0.1	26.8	1.0	28.5	17.7	28.4	23.0	28.2	25.5	27.8	28.4
6	26.3	0.1	26.7	0.9	28.4	18.1	28.4	23.4	28.2	22.0	27.8	28.5
7	26.3	0.1	26.7	0.8	28.3	18.1	28.4	23.5	28.2	17.0	27.8	28.6
8	26.3	0.1	26.7	0.8	28.3	18.1	28.4	23.7	28.2	15.1	27.8	28.7
9	26.3	0.1	26.6	0.8	28.3	18.1	28.4	23.9	28.2	15.0	27.6	29.2
10	26.3	0.1	26.7	0.8	28.3	18.2	28.4	24.0	28.2	14.7	27.5	29.4
Mean	26.3	0.1	26.7	0.8	28.4	17.5	28.4	23.0	28.2	21.4	27.7	28.6
S (mt)	0.40		0.36		0.92		1.55		1.24		3.10	

Table 2. Average biomass of chlorophyll and carotenoid pigments (mg /ml³) in six stations of the gulf of Montijo. The data are the means of three replicate samples taken at each station. I: Puerto Mutis, II: Piñas, III: Perdomo, IV: Tres Islas, V: Punta Corón, VI: Gobernadora, Nd: No detectable.

Pigments /Stations	I	II	III	IV	V	VI
Chl <i>a</i>	18.34 ± 0.32	10.70 ± 0.21	5.74 ± 0.09	5.94 ± 0.03	5.92 ± 0.03	5.67 ± 0.04
Chl <i>b</i>	36.90 ± 0.54	21.71 ± 0.18	11.11 ± 0.22	11.12 ± 0.24	11.49 ± 0.31	11.06 ± 0.12
Total Chl	55.27 ± 0.83	32.6 ± 0.30	16.85 ± 0.30	17.07 ± 0.28	17.42 ± 0.29	16.74 ± 0.16
Plant Carotenoids	6.29 ± 0.85	3.96 ± 0.21	2.36 ± 0.30	2.0 ± 0.06	2.17 ± 0.29	2.25 ± 0.27

Chlorophyll and Carotenoids

Significantly higher total chlorophyll concentrations ($p < 0.05$) were generally found at Piñas and Puerto Mutis stations ($32.6 \pm .03$ and 55.27 ± 0.83 mg/ml³ respectively). Chlorophyll *b* was double than chlorophyll *a*. Piñas and Puerto Mutis also registered the highest values of carotenoids (3.96 ± 0.21 and 6.59 ± 0.85 mg/ml³ respectively) (Table 4). The correlation coefficients of the pigments versus salinity between Puerto Mutis and Cébaco stations were significantly negative (Pearson, $p < 0.05$) showing an increase of biomass into the estuary.

DISCUSSION

A multitude of physical, chemical and biological processes affect marine organisms in coastal waters. These processes operate over a range of spatial and temporal scales (García & López 1989) that must be considered in explaining variability in the structure, function and distribution of phytoplankton communities. In the tropics, this variability is highly affected by seasonal changes in rainfall (Sournia 1969). Previous research shows that rainfall and river run-off affect inshore areas, producing temporal and spatial changes in the dynamics of coastal waters and phytoplankton standing crops (Burkholder et al., 1967, 1972; García & López 1989). Heavy rainfall and ebb tide

conditions are responsible for higher freshwater inputs into the estuary resulting in high turbidity and low light penetration in the water column. On the Pacific coast of Panama frequent rainfalls start in May and continue until October, when the Intertropical Convergence Zone moves northward over Panama. In late November the dry season has begun in earnest and little or no rain falls on the pacific slope until the following May. In these conditions, tidal ranges are more important. The spatial pattern of chlorophyll and carotenoid pigments in the gulf of Montijo were markedly heterogeneous with the highest values upstream around Puerto Mutis and Pidas river. The chlorophyll *b* is related with the Chlorophyta and Euglenophyta, two freshwater groups and reflects the influence of freshwater input on the estuary economy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank the sponsorship of the University of Panama and the UNIPAN-BID Program in the Gulf of Montijo, Panama.

REFERENCES

- Burkholder, P. R., L. M. Burkholder & L. R. Almodovar. 1967. Carbon assimilation of marine flagellate blooms in neritic waters of southern Puerto Rico. *Bull. Mar. Sci.*, 17: 1-15.
- Burkholder, P. R., R. W. Brody & A. E. Dammann. 1972. Some phytoplankton blooms in the Virgin Islands. *Caribb. J. Sci.*, 12: 23-28.
- French, D. P., M. J. Furnas & T. J. Smayda. 1983. Diel changes in nitrite concentration in the chlorophyll maximum in the Gulf of Mexico. *Deep sea Res.* 30 : 707-722.
- García, J. R. & J. M. López. 1989. Seasonal patterns of phytoplankton productivity, zooplankton abundance and hydrological conditions in Laguna Joyuda, Puerto Rico. *Topics in Marine Biology*. Ros. J. D. (ed.). *Scient. Mar.* 53: 625-631.
- Goldman, J. C. & R. Mann. 1980. Temperature-influenced variations in speciation and chemical composition of marine phytoplankton in outdoor mass culture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 46: 29-39.

conditions are responsible for higher freshwater inputs into the estuary resulting in high turbidity and low light penetration in the water column. On the Pacific coast of Panama frequent rainfalls start in May and continue until October, when the Intertropical Convergence Zone moves northward over Panama. In late November the dry season has begun in earnest and little or no rain falls on the pacific slope until the following May. In these conditions, tidal ranges are more important. The spatial pattern of chlorophyll and carotenoid pigments in the gulf of Montijo were markedly heterogeneous with the highest values upstream around Puerto Mutis and Pidas river. The chlorophyll *b* is related with the Chlorophyta and Euglenophyta, two freshwater groups and reflects the influence of freshwater input on the estuary economy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank the sponsorship of the University of Panama and the UNIPAN-BID Program in the Gulf of Montijo, Panama.

REFERENCES

- Burkholder, P. R., L. M. Burkholder & L. R. Almodovar. 1967. Carbon assimilation of marine flagellate blooms in neritic waters of southern Puerto Rico. *Bull. Mar. Sci.*, 17: 1-15.
- Burkholder, P. R., R. W. Brody & A. E. Dammann. 1972. Some phytoplankton blooms in the Virgin Islands. *Caribb. J. Sci.*, 12: 23-28.
- French, D. P., M. J. Furnas & T. J. Smayda. 1983. Diel changes in nitrite concentration in the chlorophyll maximum in the Gulf of Mexico. *Deep sea Res.* 30 : 707-722.
- García, J. R. & J. M. López. 1989. Seasonal patterns of phytoplankton productivity, zooplankton abundance and hydrological conditions in Laguna Joyuda, Puerto Rico. *Topics in Marine Biology*. Ros. J. D. (ed.). *Scient. Mar.* 53: 625-631.
- Goldman, J. C. & R. Mann. 1980. Temperature-influenced variations in speciation and chemical composition of marine phytoplankton in outdoor mass culture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 46: 29-39.

PRESENCIA DEL *Megalops atlanticus* Valenciennes, A LO LARGO DEL LITORAL PACÍFICO DE PANAMÁ, 20 AÑOS DESPUÉS DE SU DESCUBRIMIENTO

ARTÍCULO DE COMUNICACIÓN CORTA

Aramís Armando Averza Colamarco

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología,
Centro de Ciencias del Mar y Limnología -Departamento de Biología Marina y
Limnología. Apartado 161, Zona 15, Las Cumbres, Panamá República de Panamá.
E-mail: colamarco27@yahoo.com, colamarco27@cableonda.net

La presente comunicación, pretende hacer un breve resumen de las diferentes investigaciones realizadas durante los últimos 20 años, con miras a conocer los diferentes aspectos relacionados con el sábalo real (*Megalops atlanticus* Valenciennes) en el Pacífico de Panamá.

Vale la pena anotar, que el interés por el estudio de este pez, se debió a un descubrimiento fortuito realizado en el pueblo de Yaviza, provincia de Darien el 5 de julio de 1984, cuando realizamos una serie de viajes de investigación a dicha región, con miras a conocer mejor su ictiofauna, dada la reciente apertura de la carretera panamericana.

En la Fig. 1, el Sr. Francisco Cáceres, muestra el tarpon de 12.5 libras capturado en la conjunción del río Tupiza con el río Chucunaque, utilizando trasmayo de 4". Considerando que los reportes de distribución para esta especie, era exclusiva en aquel entonces, para el Caribe de Panamá, al encontrarla en el Pacífico, dentro del río Chucunaque a más de 300 kilómetros de la salida del Canal de Panamá al Pacífico, se procedió a levantar la mayor cantidad de información posible al respecto, con los pescadores del área del Darién inicialmente y posteriormente en los diferentes clubes de Yates de Panamá. Mediante sus testimonios, así como la presencia de alguna evidencia

tangible de peces, huesos, escamas, fotografías, etc. Paralelamente se hizo una recopilación bibliográfica, dentro de la cual uno de los objetivos principales, fue la de establecer los criterios para clasificación de los tarpon y de la posibilidad de especies similares en el Pacífico.



Fig. 1. Sr. Francisco Cáceres, Yaviza, Darién 5 de julio de 1984.

Utilizando los criterios morfométricos de Hollister (1934) así como de Wade (1962), se pudo finalmente concluir que la especie en estudio era el *Megalops atlanticus*, y el mismo se encontraba a lo largo de todo el Golfo de Panamá, e incluso se logró obtener un reporte sobre su captura hacia la Isla de Coiba, (Averza Colamarco 1984). Posteriormente ese mismo autor en 1985, con mayores evidencias, sugiere la posibilidad de la conquista del Tarpon de todo el Pacífico de Panamá; hecho que es confirmado por Averza Colamarco et al. (1993) y Averza Colamarco (2001), en sus informes de ampliación en cuanto su distribución. Vale la pena anotar, que otro hecho fortuito, nos permitió identificar la larva del sábalo real (*leptocephala*), la cual habíamos colectado durante la Operación Drake en Bahía Caledonia y Puerto Escocés en enero de 1979 (Averza Colamarco 1993), lo que nos

confirmó la presencia de una población del tarpon, reproductivamente activa en el Caribe de Panamá, cuyo ciclo inicia en diciembre.

La presencia del tarpon dentro del sistema hidrológico del Canal de Panamá, ha sido ampliamente documentada desde Breder (1925), sin embargo, en años recientes, diferentes investigadores de la Universidad de Panamá, han logrado reportarlo dentro de las esclusas Villaláz & Gómez (1986), Gómez et al. (1999), Averza Colamarco et al. (2001), Centro de Ciencia del Mar y Limnología (CCML) (2000, 2001a, 2001b, 2003) y en el Lago Gatún así como sus tributarios (Averza Colamarco et al., 2004).

Consideramos que su presencia inicial, fue el producto de quedar atrapados dentro de la cuenca hidrográfica del Río Chagres, la que utilizaban ampliamente, cuando la represa de Gatún finalmente se clausuró, algo similar a lo observado en el Lago Bayano, respecto a róbalos, tiburones y pez serrucho (Vazquez-Montoya & Thorzón 1982). Adicionalmente, dado la fortaleza de su natación y a su capacidad de vivir en aguas totalmente dulces, el tarpon ha estado utilizando el Canal de Panamá, como área de desplazamiento; de hecho es común verlos pasar por las esclusas e incluso flotando muertos, al ser impactado por las proelas de los barcos, según lo expresado por el Sr. R. Davidson, guía de las esclusas de Miraflores (com. personal). Otras posibilidades de su paso por el Canal, incluyen su presencia como huevos y/o larvas, dentro del agua de lastre o bien, como parte del "biofouling" (deposición biológica) de los cascos de los barcos (Averza Colamarco 2003).

La totalidad de los reportes obtenidos hasta la fecha, nos muestran una distribución amplia, a lo largo de toda el área costera del Pacífico de Panamá, así como su inclusión en grandes cantidades (durante el verano en el Golfo de Panamá), dentro de las principales cuencas hidrográficas del área (Tuira-Chucunaque, Bayano, río Grande, Santa María, San Pablo, San Félix, Tabasará, Chiriquí y Chiriquí Viejo); sin embargo, contamos con un reporte de su presencia en las cercanías de Isla Coiba por C. Abernathy y recientemente (octubre 2004) de la captura de un ejemplar de 4 libras en río Chico, Isla Viveros, Archipiélago de las Perlas, lo que parece indicar su desplazamiento hacia las aguas oceánicas de Panamá (Averza Colamarco 1984; Panama Fishing & Catching 2003).

En el futuro, continuaremos adicionando reportes de distribución y estacionalidad, con el fin de establecer su ciclo biológico y condiciones genéticas en el Caribe y Pacífico de Panamá, para respaldar las conclusiones morfométricas. Finalmente pretendemos confirmar la existencia de una población de Tarpon, reproductivamente activa en el Pacífico de Panamá, que en la actualidad migra a través del Canal de Panamá, en ambas direcciones.

AGRADECIMIENTO

Los resultados aquí expuestos, son el producto de la cooperación de personas, pescadores y colegas, que nos han brindado su apoyo. A todos ellos nuestro agradecimiento. Al Centro de Ciencias del Mar y Limnología y al Departamento de Biología Marina y Limnología, de la Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, de la Universidad de Panamá, por permitirnos el tiempo y espacio. Al Dr. Jerónimo Averza y a la Sra. María T. de Averza, por su constante apoyo y paciencia. A la Fundación Oneida Colamarco de Averza, por haber financiado el proyecto.

REFERENCIAS

Averza Colamarco, A.A. 1984. Evaluación preliminar sobre la conquista del Pacífico Panameño, por el *Tarpon atlanticus* Valenciennes. Informe Final, Centro de Ciencias del Mar y Limnología (CCML), Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Panamá, 13 pp.

Averza Colamarco, A.A. 1985. El *Tarpon atlanticus* Valenciennes: habrá conquistado el Pacífico panameño. II Congreso Científico Nacional 2-4 de diciembre de 1985, ponencia. 4 de diciembre. 3 pp.

Averza Colamarco, A.A. 1993. Estudio ictológico de los sistemas estuarinos de la Bahía Caledonia y Puerto Escocés, San Blas, República de Panamá (colectados durante 1978-1979). Informe Final, Departamento de Biología Acuática (DBA)-UP, 18 pp.

Averza Colamarco, A.A., S. Díaz & A. Tribaldos. 1993. Ampliación en la distribución del sábalo real (*M. atlanticus*) Valenciennes, en el Pacífico de Panamá. Informe Final, DBA/CCML-UP., 15 pp.

Averza Colamarco, A.A. 2001. La conquista del Pacífico de Panamá por el Tarpon (*Megalops Atlanticus Valenciennes*). Propuesta Disertación Doctoral, Departamento de Ciencias Marinas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, 9 pp.

Averza Colamarco, A.A. 2003. Análisis de la estrategia de conquista y supervivencia del Sábalo Real (*Megalops atlanticus*), en el Pacífico de Panamá. 22 Congreso Científico Nacional, Universidad de Panamá. Programa-Ponencias, p. 39.

Averza-Colamarco, A.A., H. Garcés, J. García & R. Rivera. 2001. Análisis preliminar de los peces y crustáceos colectados dentro de las esclusas de Pedro Miguel, Canal de Panamá. Resumen, 20 Congreso Científico nacional (1 al 13 de octubre), Universidad de Panamá, Programa-Ponencias, p. 91.

Averza Colamarco, A.A., J. García, R. Rivera & M. Núñez. 2004. Proyecto: Colecta y Análisis de Muestras Biológicas de los Lagos Gatún y Miraflores; No. 5: Ictiofauna. Informe Final, CCML-FACINET para la Autoridad del Canal de Panamá, 22 páginas + anexos.

Breder, C.M.Jr. 1925. Notes on fishes from three Panama localities. Zoologica 4(4): 137-158.

CCML. 2000. Especies de peces colectadas en las esclusas de Miraflores durante el 22 de septiembre del 2000. Informe Interno. pág. var.

CCML. 2001a. Organismos colectados en las esclusas de Pedro Miguel durante el 12 de julio del 2001. Informe Anual. pág. var.

CCML. 2001b. Especies de peces colectadas en las esclusas de Gatún durante el 18 de septiembre del 2001. Informe Anual. pág. var.

CCML. 2003. Organismos colectados en las esclusas de Gatún durante el 16 de septiembre del 2003. Informe Anual. pág. var.

Gómez, J.A., J.R. Villalaz, A. Soler, & A.A. Averza-Colamarco. 1999. Monitoreo biológico de las especies colectadas en los juegos de

Esclusas del Canal de Panamá. XVIII Congreso Científico Nacional, 4 al 8 octubre de 1999, Resumen, Programa-Ponencias, Pág. 73.

Hollister, G. 1934. Young *Megalops cyprinoids* from Batavia, Dutch East India, including a study of the caudal skeleton and comparison with the Atlantic species, *Tarpon atlanticus*. Zoologica 24 (28): 449-475.

Panama Fishing & Catching. 2003. Bayano River (Rio Chepo) Tarpon Fishing Carters. Part II. <http://www.panamafishingandcatching.com/2-bayano.htm>.

Vasquez-Montoya, R., & T.B. Thorson. 1982. The bull shark (*Carcharhinus leucas*) and largetooth sawfish (*Pristis perotteti*) in Lake bayano, a tropical man-made impoundment in Panamá. Env. Biol. Fish 7(4): 341-347.

Villalaz, J. & J.A. Gómez. 1986. Estudio biológico de las especies colectadas en las esclusas de Gatún y Pedro Miguel (1985-1986). Informe Final. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Panamá. 18 pp.

Wade, R.A. 1962. The biology of the tarpon, *Megalops atlanticus* and the Ox-eye, *Megalops cyprinoids* with emphasis on larval development. Bull. Mar. Sci. Gulf Carib. 12(4): 545-601.

Recibido octubre 2004, aceptado diciembre de 2004.



PRESENCIA DEL *Megalops atlanticus* Valenciennes, A LO LARGO DEL LITORAL PACÍFICO DE PANAMÁ, 20 AÑOS DESPUÉS DE SU DESCUBRIMIENTO

ARTICULO DE COMUNICACIÓN CORTA

Aramis Armando Averza Colamarco

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología,
Centro de Ciencias del Mar y Limnología -Departamento de Biología Marina y
Limnología, Apartado 161, Zona 15, Las Cumbres, Panamá República de Panamá
E-mail: colamarco27@yahoo.com, colamarco27@cableonda.net

La presente comunicación, pretende hacer un breve resumen de las diferentes investigaciones realizadas durante los últimos 20 años, con miras a conocer los diferentes aspectos relacionados con el sábalo real (*Megalops atlanticus* Valenciennes) en el Pacífico de Panamá.

Vale la pena anotar, que el interés por el estudio de este pez, se debió a un descubrimiento fortuito realizado en el pueblo de Yaviza, provincia de Darien el 5 de julio de 1984, cuando realizamos una serie de viajes de investigación a dicha región, con miras a conocer mejor su ictiofauna, dada la reciente apertura de la carretera panamericana.

En la Fig. 1, el Sr. Francisco Cáceres, muestra el tarpon de 12.5 libras capturado en la conjunción del río Tupiza con el río Chucunaque, utilizando trasmayo de 4". Considerando que los reportes de distribución para esta especie, era exclusiva en aquel entonces, para el Caribe de Panamá, al encontrarla en el Pacífico, dentro del río Chucunaque a más de 300 kilómetros de la salida del Canal de Panamá al Pacífico, se procedió a levantar la mayor cantidad de información posible al respecto, con los pescadores del área del Darién inicialmente y posteriormente en los diferentes clubes de Yates de Panamá. Mediante sus testimonios, así como la presencia de alguna evidencia

tangible de peces, huesos, escamas, fotografías, etc. Paralelamente se hizo una recopilación bibliográfica, dentro de la cual uno de los objetivos principales, fue la de establecer los criterios para clasificación de los tarpón y de la posibilidad de especies similares en el Pacífico.



Fig. 1. Sr. Francisco Cáceres, Yaviza, Darién 5 de julio de 1984.

Utilizando los criterios morfométricos de Hollister (1934) así como de Wade (1962), se pudo finalmente concluir que la especie en estudio era el *Megalops atlanticus*, y el mismo se encontraba a lo largo de todo el Golfo de Panamá, e incluso se logró obtener un reporte sobre su captura hacia la Isla de Coiba, (Averza Colamarco 1984). Posteriormente ese mismo autor en 1985, con mayores evidencias, sugiere la posibilidad de la conquista del Tarpón de todo el Pacífico de Panamá; hecho que es confirmado por Averza Colamarco et al. (1993) y Averza Colamarco (2001), en sus informes de ampliación en cuanto su distribución. Vale la pena anotar, que otro hecho fortuito, nos permitió identificar la larva del sábalo real (leptocephala), la cual habíamos colectado durante la Operación Drake en Bahía Caledonia y Puerto Escocés en enero de 1979 (Averza Colamarco 1993), lo que nos

confirmó la presencia de una población del tarpon, reproductivamente activa en el Caribe de Panamá, cuyo ciclo inicia en diciembre.

La presencia del tarpon dentro del sistema hidrológico del Canal de Panamá, ha sido ampliamente documentada desde Breder (1925), sin embargo, en años recientes, diferentes investigadores de la Universidad de Panamá, han logrado reportarlo dentro de las esclusas Villaláz & Gómez (1986), Gómez et al. (1999), Averza Colamarco et al. (2001), Centro de Ciencia del Mar y Limnología (CCML) (2000, 2001a, 2001b, 2003) y en el Lago Gatún así como sus tributarios (Averza Colamarco et al., 2004).

Consideramos que su presencia inicial, fue el producto de quedar atrapados dentro de la cuenca hidrográfica del Río Chagres, la que utilizaban ampliamente, cuando la represa de Gatún finalmente se clausuro, algo similar a lo observado en el Lago Bayano, respecto a robalos, tiburones y pez serrucho (Vazquez-Montoya & Thorzón 1982). Adicionalmente, dado la fortaleza de su natación y a su capacidad de vivir en aguas totalmente dulces, el tarpon ha estado utilizando el Canal de Panamá, como área de desplazamiento; de hecho es común verlos pasar por las esclusas e incluso flotando muertos, al ser impactado por las proelas de los barcos, según lo expresado por el Sr. R. Davidson, guía de las esclusas de Miraflores (com. personal). Otras posibilidades de su paso por el Canal, incluyen su presencia como huevos y/o larvas, dentro del agua de lastre o bien, como parte del "biofouling" (deposición biológica) de los cascos de los barcos (Averza Colamarco 2003).

La totalidad de los reportes obtenidos hasta la fecha, nos muestran una distribución amplia, a lo largo de toda el área costera del Pacífico de Panamá, así como su inclusión en grandes cantidades (durante el verano en el Golfo de Panamá), dentro de las principales cuencas hidrográficas del área (Tuira-Chucunaque, Bayano, río Grande, Santa María, San Pablo, San Félix, Tabasará, Chiriquí y Chiriquí Viejo); sin embargo, contamos con un reporte de su presencia en las cercanías de Isla Coiba por C. Abernathy y recientemente (octubre 2004) de la captura de un ejemplar de 4 libras en río Chico, Isla Viveros, Archipiélago de las Perlas, lo que parece indicar su desplazamiento hacia las aguas oceánicas de Panamá (Averza Colamarco 1984; Panama Fishing & Catching 2003).

En el futuro, continuaremos adicionando reportes de distribución y estacionalidad, con el fin de establecer su ciclo biológico y condiciones genéticas en el Caribe y Pacífico de Panamá, para respaldar las conclusiones morfométricas. Finalmente pretendemos confirmar la existencia de una población de Tarpon, reproductivamente activa en el Pacífico de Panamá, que en la actualidad migra a través del Canal de Panamá, en ambas direcciones

AGRADECIMIENTO

Los resultados aquí expuestos, son el producto de la cooperación de personas, pescadores y colegas, que nos han brindado su apoyo. A todos ellos nuestro agradecimiento. Al Centro de Ciencias del Mar y Limnología y al Departamento de Biología Marina y Limnología, de la Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, de la Universidad de Panamá, por permitirnos el tiempo y espacio. Al Dr. Jerónimo Averza y a la Sra. María T. de Averza, por su constante apoyo y paciencia. A la Fundación Oneida Colamarco de Averza, por haber financiado el proyecto.

REFERENCIAS

Averza Colamarco, A.A. 1984. Evaluación preliminar sobre la conquista del Pacífico Panameño, por el *Tarpon atlanticus* Valenciennes. Informe Final, Centro de Ciencias del Mar y Limnología (CCML), Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Panamá, 13 pp.

Averza Colamarco, A.A. 1985. El *Tarpon atlanticus* Valenciennes: habrá conquistado el Pacífico panameño. II Congreso Científico Nacional 2-4 de diciembre de 1985, ponencia. 4 de diciembre. 3 pp.

Averza Colamarco, A.A. 1993. Estudio ictiológico de los sistemas estuarinos de la Bahía Caledonia y Puerto Escocés, San Blas, República de Panamá (colectados durante 1978-1979). Informe Final, Departamento de Biología Acuática (DBA)-UP, 18 pp.

Averza Colamarco, A.A., S. Díaz & A. Tribaldos. 1993. Ampliación en la distribución del sábalo real (*M. atlanticus*) Valenciennes, en el Pacífico de Panamá. Informe Final, DBA/CCML-UP., 15 pp.

Averza Colamarco, A.A. 2001. La conquista del Pacífico de Panamá por el Tarpon (*Megalops Atlanticus Valenciennes*). Propuesta Disertación Doctoral, Departamento de Ciencias Marinas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, 9 pp.

Averza Colamarco, A.A. 2003 Análisis de la estrategia de conquista y supervivencia del Sábalo Real (*Megalops atlanticus*), en el Pacífico de Panamá. 22 Congreso Científico Nacional, Universidad de Panamá, Programa-Ponencias, p. 39.

Averza-Colamarco, A.A., H. Garcés, J. García & R. Rivera. 2001. Análisis preliminar de los peces y crustáceos colectados dentro de las esclusas de Pedro Miguel, Canal de Panamá. Resumen. 20 Congreso Científico nacional (1 al 13 de octubre), Universidad de Panamá, Programa-Ponencias, p. 91.

Averza Colamarco, A.A., J. García, R. Rivera & M. Núñez. 2004. Proyecto: Colecta y Análisis de Muestras Biológicas de los Lagos Gatún y Miraflores: No. 5: Ictiofauna. Informe Final, CCML-FACINET para la Autoridad del Canal de Panamá, 22 páginas + anexos.

Breder, C.M.Jr. 1925. Notes on fishes from three Panama localities. Zoologica 4(4): 137-158.

CCML. 2000. Especies de peces colectadas en las esclusas de Miraflores durante el 22 de septiembre del 2000. Informe Interno. pág. var.

CCML. 2001a. Organismos colectados en las esclusas de Pedro Miguel durante el 12 de julio del 2001. Informe Anual. pág. var.

CCML. 2001b. Especies de peces colectadas en las esclusas de Gatún durante el 18 de septiembre del 2001. Informe Anual. pág. var.

CCML. 2003. Organismos colectados en las esclusas de Gatún durante el 16 de septiembre del 2003. Informe Anual. pág. var.

Gómez, J.A., J.R. Villalaz, A. Soler, & A.A. Averza-Colamarco. 1999. Monitoreo biológico de las especies colectadas en los juegos de

Esclusas del Canal de Panamá. XVIII Congreso Científico Nacional, 4 al 8 octubre de 1999, Resumen, Programa-Ponencias, Pág. 73.

Hollister, G. 1934. Young *Megalops cyprinoids* from Batavia, Dutch East India, including a study of the caudal skeleton and comparison with the Atlantic species, *Tarpon atlanticus*. Zoologica 24 (28): 449-475.

Panama Fishing & Catching. 2003. Bayano River (Rio Chepo) Tarpon Fishing Carters. Part II. <http://www.panamafishingandcatching.com/2-bayano.htm>.

Vasquez-Montoya, R., & T.B. Thorson. 1982. The bull shark (*Carcharhinus leucas*) and largetooth sawfish (*Pristis perotteti*) in Lake bayano, a tropical man-made impoundment in Panamá. Env. Biol. Fish 7(4): 341-347.

Villalaz, J. & J.A. Gómez. 1986. Estudio biológico de las especies colectadas en las esclusas de Gatún y Pedro Miguel (1985-1986). Informe Final. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Panamá. 18 pp.

Wade, R.A. 1962. The biology of the tarpon, *Megalops atlanticus* and the Ox-eye, *Megalops cyprinoids* with emphasis on larval development. Bull. Mar. Sci. Gulf Carib. 12(4): 545-601.

Recibido octubre 2004, aceptado diciembre de 2004.