

## Comparación de las características biométricas de *Artemia franciscana* de aguas interiores de México, con respecto a la especie originaria de la población de Bahía de San Francisco (BSF).

### Biometry characteristics comparison of *Artemia franciscana* inland waters strains from México with “originally” specie from San Francisco, Bay (SFB) population.

Castro-Mejía J\*, Castro-Mejía G, De Lara-Andrade R, Monroy-Dosta MC, Orozco-Rojas DI, Torrez-Ramírez JÁ.

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Producción de Alimento Vivo. Calzada del Hueso No.1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, D.F. Depto. El Hombre y su Ambiente. Tel 5483 7151.

\*Email: [camj7509@correo.xoc.uam.mx](mailto:camj7509@correo.xoc.uam.mx)

#### RESUMEN

Las poblaciones de *Artemia* se encuentran restringidas en cuerpos de agua hipersalinos, ya sean costeros o de aguas interiores, las cuales muestran una plasticidad diferente ya sea en su ciclo de vida, biometría y características bioquímicas, las cuales causan un aislamiento geográfico formando diferente fenotipos de *Artemia*. Es por eso que se estudiaron cuatro poblaciones de *Artemia* de aguas interiores (CCIEN, SLP, ZAC y TEX), las cuales fueron comparadas con los valores biométricos de la “especie original” de *Artemia franciscana* (quistes hidratados, embriones descapsulados, nauplios y adultos: machos y hembras). Pruebas de ANDEVA y Tukey fueron aplicadas a los datos para encontrar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), así como un análisis discriminante basado en el tipo de clasificación por población. La población de CCIEN tuvo los valores biométricos más altos y la población de TEX, los más bajos. Las diferencias encontradas en las variables biométricas que no son modificadas por el pool genético de la población fueron: longitud total, longitud de abdomen, longitud de antenas y ancho del abdomen. Las variables biométricas modificadas genéticamente fueron: longitud de la furca, ancho de la cabeza, diámetro del ojo y distancia entre los ojos. El análisis discriminante muestra que el diámetro del quiste, la longitud del nauplio y la longitud tanto del macho como de la hembra fueron diferentes con respecto a la población de BSF, considerando tres medidas principales longitud total,

longitud de la furca y ancho de la cabeza. Basado en estos resultados, podemos inferir que las poblaciones Mexicanas de aguas interiores comienzan a separarse de la especie de *A. franciscana* de BSF, pero que además forman dos grupos, en donde la población de ZAC se comienza a separar de las otras tres (SLP, CCIEN, TEX) debido al aislamiento ecológico, causado principalmente por la composición iónica del hábitat de donde procede cada una de las poblaciones.

**Palabras clave:** *Artemia franciscana*, biometría, aguas interiores, México.

#### ABSTRACT

*Artemia* populations were restricted at hypersaline coastal and inland water bodies and show great plasticity differences in their life cycle, biometry and biochemical characteristics causing geographical isolation and formed different *Artemia* phenotypes. That's why four Mexican *Artemia* inland waters populations were studied (CCIEN, SLP, ZAC and TEX), and compared with *A. franciscana* “originally specie” biometric data (hydrated cysts, decapsulated embryos, nauplii and adult (male and female) stage. ANOVA and Tukey test was applied to show significant differences ( $P < 0.05$ ), also a discriminate analysis was made based on population type classification. CCIEN population has the biggest

*Artemia franciscana* de aguas interiores de México

Castro-Mejía J, Castro-Mejía G, De Lara-Andrade R, Monroy-Dosta MC, Orozco-Rojas DI, Torrez-Ramírez JÁ.

biometric data and TEX has the lowest values. The differences in biometric variables which are not modified by genetic pool conditions are: total length, abdomen length, antennae length, abdomen width. The variables that were modified by genetic pool were: furca length, head width, eye diameter and distance between eyes. Discriminant analysis shown that Mexican cysts diameter, nauplii length, male and female length were different with respect SFB strain with respect total length, furca length and head width. Therefore based on the results, we can infer that the Mexican populations of inland waters have begun to separate from the species *A. franciscana* SFB, but also forming two groups of stocks, where the population of ZAC begins to separate from the other three (SLP, CCIEN, TEX), due to ecological

isolation, caused by the ionic composition of the habitat where each is.

**Key words:** *Artemia franciscana*, biometry, inland waters, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

El género *Artemia* es un conjunto complejo de especies emparentadas y superespecies definidas bajo el criterio de aislamiento reproductivo (Browne and Bowen 1991). Un grupo llamado “Especies del Mundo Nuevo” compuesto por *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 (Norte, Central y Sur América), *Artemia persimilis* Piccinelli y Prosdocimi, 1968 (Argentina) y *Artemia monica* Verrill, 1869 (EUA). Otro grupo llamado “Especies del Viejo Mundo” representado por *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) (Mediterráneo), *Artemia urmiana* Günther, 1899 (Lago urmia, Irán), *Artemia sinica* Cai, 1989 (China) y una subespecie *Artemia sinica sinica* Cai, 1989, *Artemia tibetiana* Abatzopoulos *et al.*, 1998 (Planicies del Tibet) and una subespecie *Artemia sinica tibetiana* Abatzopoulos *et al.*, 1998; y algunas poblaciones partenogenéticas de *Artemia*.

Existe alguna información disponible sobre la supervivencia y tasas de crecimiento de poblaciones de *Artemia* bisexuales y partenogenéticas (Vanhaecke *et al.* 1984, Browne *et al.* 1984, Wear and Haslett 1986, Browne *et al.* 1991, Triantaphyllidis *et al.* 1995, Triantaphyllidis *et al.* 1997<sup>a</sup>, Triantaphyllidis *et al.* 1997<sup>b</sup>, Browne y Wanigasekera 2000, Abatzopoulos *et al.* 2003,

Baxevanis *et al.* 2004, Castro 2004, El-Bermawi *et al.* 2004, Abatzopoulos *et al.* 2006<sup>b</sup>, Agh *et al.* 2008) cultivadas a diferentes salinidades. La disminución de la cosecha de quistes de *Artemia* del Gran lago Salado en Utah, EUA desde 1977 (Lavens y Sorgeloos 2000), ha provocado que se identifique la búsqueda de nuevas fuentes naturales de este recurso, sobre todo en cuerpos de aguas saladas interiores con poblaciones naturales de *Artemia*, las cuales pueden ser utilizadas para la explotación comercial.

Las diferentes poblaciones de *Artemia* se encuentran restringidas a cuerpos de aguas hipersalinos tanto en la zona costera como en aguas interiores de los continentes (Persoone y Sorgeloos 1980), las cuales muestran una gran plasticidad en sus ciclos de vida (Lenz y Browne 1991), biometría (Amat 1980, Schrehardt 1987), y características bioquímicas (Léger *et al.* 1986). Estas diferencias están atribuidas a diferentes niveles de características intrapoblacionales y al “pool” genético de cada una de las especies (Abreu-Grobois 1987, Gajardo and Beardmore 1993). Otros investigadores como Gilchrist (1960), Baid (1963), Vanhaecke y Sorgeloos (1980), Lenz y Dana (1987), (Correa *et al.* 1993), señalan que el aislamiento geográfico y las características del habitat han formado diferentes fenotipos de *Artemia* con diferentes características biológicas, químicas y fisiológicas (Erhardt *et al.* 1971, Amat 1980, Castritsi y Christodouloupoulou 1987, Lysenko 1987, Yaneng 1987, Castro *et al.*, 1989 y Correa y Bückle 1993).

Las poblaciones de aguas interiores de *Artemia* presentan características biológicas específicas, provocadas por el patrón de aislamiento en sus lugares en donde habitan. Estas poblaciones y sus lugares, presentan diferentes composiciones químicas en el medioambiente, las cuales modifican sus características biológicas. Estas diferencias están dadas por la evolución, morfología y comportamiento reproductivo que en consecuencia es causada proceso de especiación para cada una de las especies o poblaciones (Asem *et al.* 2009, 2010), Castro *et al.* 2011).

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es determinar la variación biométrica que han sufrido las poblaciones de aguas interiores

de México y compararlas con los datos de la población “originaria” de Bahía de San Francisco, EUA, las cuales presentan entre ellas un aislamiento provocado por barreras geográficas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Poblaciones usadas en el experimento:** Este estudio fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de producción de Alimento Vivo de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México. La procedencia de los quistes y su localización geográfica se encuentra enlistada en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenas geográficas del habitat de las poblaciones de *A. franciscana* de aguas interiores.

Localidad y Estado de la República	Coordenadas geográficas
Cuatro Ciénegas, Coahuila	26° 59' N; 102° 04' W
Santo Domingo Zacatecas	23° 18' N; 102° 21' W
Las Salinas, San Luis Potosí	22° 43' N; 102° 21' W
Texcoco, State of Mexico	19° 32' N; 99° 00' W



Fig.1. Distribución del hábitat de las poblaciones mexicanas de *A. franciscana* de aguas interiores.

**Diámetro de quistes y longitud de los nauplios:** De cada una de las poblaciones mexicanas de aguas interiores se tomaron 0.1 g de quistes y se hidrataron en agua dulce durante una hora. Se midió el diámetro de 100 quistes hidratados con la ayuda de un microscopio óptico equipado con cámara con un programa de software Image-Pro

Plus 7.0 (MediaCybernetics®). Esos mismos quistes fueron descapsulados en una solución de hipoclorito de sodio para eliminar la cáscara y medido su diámetro. El grosor de corion fue obtenido por la diferencia entre el valor del diámetro promedio del quiste hidratado y el valor del diámetro promedio del embrión descapsulado. Para obtener el valor promedio de la talla del nauplio, se pusieron a eclosionar 0.2 g de quistes de cada población mexicana de *Artemia* en un cono de plástico de 4 L con 35 g L<sup>-1</sup> de salinidad, pH 8-10 y una temperatura entre 22±0.2°C, con luz y aireación continua. Después de 24 horas, 100 nauplios fueron medidos con la ayuda del mismo microscopio.

**Biometría de machos y hembras:** Se pusieron a eclosionar 0.5 g de quistes de cada población estudiada y los nauplios fueron colocados en recipientes de plástico de 200 L con 160 L de agua a 80 g L<sup>-1</sup> de salinidad con un pH 8-10 y una temperatura entre 23 ±2°C. Cada tercer día los organismos fueron alimentados con 50 mL of salvado de arroz (100 g L<sup>-1</sup>) y cada día con 1 L de la microalga *Tetraselmis* sp. (500,000 cel mL<sup>-1</sup>). Los organismos fueron mantenidos en estas condiciones durante 14 días hasta observar el dimorfismo sexual. Se separaron 100 organismos machos y 100 hembras y mantenidos bajo las mismas condiciones durante siete días más. Al finalizar, los organismos fueron fijados con una solución de ácido acético y las variables biométricas fueron medidas con el mismo microscopio antes descrito: longitud total (lt), longitud del abdomen (lb), longitud de la furca (lf), longitud de la antena (la), ancho del abdomen (aa), ancho de la cabeza (ac), diámetro del ojo (od), distancia entre los ojos (do), y con las hembras, además el ancho del ovisaco (ao).

**Análisis estadístico:** Pruebas de Tallo y Hoja, así como Box Plot fueron realizadas para asegurar la normalidad de la información. Un análisis descriptivo fue realizado para obtener los valores promedio y su desviación estándar de todas y cada una de las variables biométricas consideradas. Análisis de varianza (ANDEVA) de una sola vía fueron realizadas para determinar diferencias significativas (P<0.05) entre los valores biométricos entre las poblaciones mexicanas de aguas interiores

(Tatsuoka 1970, Kachigan 1991). Además se utilizó la Técnica de Comparación de Medias Múltiples (Método de Tukey;  $P < 0.05$ ). Asimismo, se aplicó un análisis discriminante, utilizando a la población como criterio de separación (Sokal y Rohlf 1981, Kachigan 1991). El programa SYSTAT 13 (Systat Software Inc., Calif. EUA) fue utilizado para todos los procesos estadísticos.

## RESULTADOS

### Diámetro de los quistes y talla del nauplio:

Los valores promedio y su  $\pm$  D.S. se muestran en la Tabla 2. La población de CCIEN fue la que presentó el mayor diámetro de los quistes hidratados, aunque no es significativamente diferente con las medidas de las otras poblaciones ( $P < 0.05$ ). la población de la BSF presentó los valores más bajos. El valor más alto en el diámetro del embrión descapsulado fue para la población de ZAC, pero al igual que el anterior, el análisis de ANDEVA no señala diferencias significativas entre las poblaciones mexicanas. En este valor biométrico, las poblaciones de BSF y TEX no muestran diferencias significativas entre ellas ( $P < 0.05$ ). Con respecto a la talla del nauplio, las poblaciones de BSF, TEX, SLP y ZAC no presentaron diferencias significativas entre ellas. La población de CCIEN tuvo el valor más alto, mientras que la población mexicana de TEX presentó el valor más bajo aún con respecto a BSF.

Tabla 2. Valores promedio ( $\pm$  D.S.) de quistes hidratados y embriones descapsulados, grosor de corion y talla del nauplio de las poblaciones mexicanas de *A. franciscana* de aguas interiores.

Variables biométricas	Poblaciones de <i>Artemia franciscana</i>				
	CCIEN	ZAC	SLP	TEX	BSF*
Quistes hidratados	231.21 <sup>a</sup>	230.25 <sup>a</sup>	228.86 <sup>a</sup>	230.23 <sup>a</sup>	224.37
D.S.	$\pm 4.40$	$\pm 4.16$	$\pm 6.20$	$\pm 4.50$	$\pm 7.44$
Embriones descapsulados	213.99 <sup>a</sup>	216.04 <sup>a</sup>	215.27 <sup>a</sup>	212.37 <sup>a,b</sup>	209.00 <sup>b</sup>
D.S.	$\pm 6.95$	$\pm 6.61$	$\pm 7.44$	$\pm 4.28$	$\pm 7.47$
Talla de nauplios	472.93	432.75 <sup>a</sup>	425.52 <sup>a</sup>	422.62 <sup>a</sup>	426.19 <sup>a</sup>
D.S.	$\pm 26.60$	$\pm 15.74$	$\pm 22.74$	$\pm 29.01$	$\pm 13.91$
Grosor de corion	8.61	7.10	6.79	8.93	7.69

\*Valores obtenidos de Castro (2004).

La misma letra en fila señala la no diferencia significativa entre las poblaciones ( $P < 0.05$ )

Con respecto al análisis discriminante, los resultados del porcentaje de clasificación tanto de quistes y nauplios se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los resultados del análisis discriminante en los valores biométricos de quistes y nauplios, mostrados en porcentaje de clasificación de la población en cada grupo.

Poblaciones	% correcto	Poblaciones de <i>Artemia franciscana</i>				
		CCIEN	ZAC	SLP	TEX	BSF
CCIEN	87	87	0	10	0	3
ZAC	30	0	7	33	30	30
SLP	27	0	27	27	20	27
TEX	40	0	13	10	40	37
BSF	77	0	77	13	10	0

Solamente las poblaciones de CCIEN y BSF se encuentran bien clasificadas con 75% correcto. Las otras poblaciones (ZAC, SLP y TEX) solamente alcanzaron un 30% de clasificación.

En la Tabla 4 se muestra la función canónica discriminante (estandarizada con la varianza) y los resultados canónicos de los valores promedio de cada uno de los grupos con respecto a las dos primeras funciones canónicas, las cuales explican el 98% de la información.

Tabla 4. Las dos funciones canónicas discriminantes (estandarizadas con la varianza) y los resultados canónicos por grupo de los valores promedio.

Función canónica discriminante estandarizada con la varianza	Factor 1	Factor 2
Quiste hidratado	0.060	0.798
Embrión descapsulado	0.084	0.554
Talla del nauplio	0.986	-0.183

Valores promedio de la función canónica	Factor 1	Factor 2
CCIEN	2.831	-0.104
SFB	-0.905	-1.228
SLP	-0.556	0.469
TEX	-0.808	0.288
ZAC	-0.562	0.575

Valores Eigen	2.093	0.446
Correlación canónica	0.823	0.555
Proporción acumulada	0.811	0.984

El análisis discriminante indica que la talla del nauplio y el diámetro de los quistes fueron las variables que discriminan principalmente a las

poblaciones de *A. franciscana* (Fig.2). Las poblaciones de BSF y CCIEN se separar marcadamente de las otras tres localidades (TEX, SLP y ZAC).

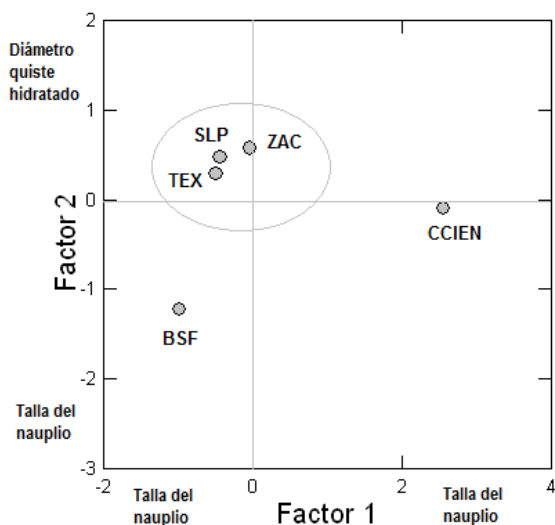


Fig. 2. Comparación del diámetro del quiste, diámetro del embrión descapsulado y talla del nauplio de las poblaciones mexicanas de aguas interiores con respecto a BSF por medio de un análisis discriminante.

**Biometría de machos adultos:** Los valores promedio (D.S.) se muestran en la Tabla 5. La población de BSF mostró los valores más altos en todas las variables biométricas consideradas. El valor más alto en longitud total de las poblaciones mexicanas fue para la población de ZAC, mientras que el valor más bajo fue para SLP. El análisis de ANDEVA indicó que la población de CCIEN no

presentó diferencias significativas con las poblaciones de SLP y TEX. Se puede observar que las variables de longitud de la furca y el diámetro del ojo, en todas las poblaciones muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ellas.

El análisis discriminante mostró que las poblaciones de *Artemia* estudiadas presentan un 96% de clasificación correcto en la matriz de clasificación con la técnica de Jackknifed (Tabla 6). Además, el 95% de la información es explicada con los dos primeros factores de discriminación. Las variables biométricas con el mayor peso de discriminación de forma positiva fue la distancia entre los ojos y el ancho de la cabeza, mientras que de forma negativa fue la longitud de la antena y de la furca (Fig. 3).

Tabla 6. Resultados de la discriminación del análisis discriminante sobre la biometría de los machos adultos, mostrando el porcentaje de clasificación de cada una de las poblaciones.

Poblaciones	%	<i>Artemia franciscana</i> strains				
		correcto	CCIEN	ZAC	SLP	TEX
CCIEN	90	27	0	3	0	0
ZAC	100	0	30	0	0	0
SLP	93	1	0	28	1	0
TEX	97	0	0	1	29	0
BSF	100	0	0	0	0	30
Total	96	28	30	32	30	30

En la Tabla 7 se muestra la función canónica discriminante (estandarizada con la varianza), así como los resultados canónicos de los valores promedio de las dos primeras funciones canónicas, las cuales explican el 95% de los valores.

Tabla 5. Valores promedio de la biometría de machos ( $\pm$  D.S.) de las poblaciones de *A. franciscana* estudiadas.

Poblaciones	Variables biométricas								
	lt	lab	lf	lan	aab	ac	od	deo	
C. CIEN	6.40 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	0.34	1.20 <sup>a</sup>	0.48 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.36	1.50 <sup>a</sup>	
D.S.	$\pm 0.82$	$\pm 0.51$	$\pm 0.07$	$\pm 0.24$	$\pm 0.06$	$\pm 0.12$	$\pm 0.07$	$\pm 0.24$	
ZAC	7.92	2.85 <sup>a</sup>	0.14	0.74	0.50 <sup>a</sup>	0.80	0.24	1.47	
D.S.	$\pm 1.10$	$\pm 0.55$	$\pm 0.13$	$\pm 0.11$	$\pm 0.07$	$\pm 0.09$	$\pm 0.04$	$\pm 0.19$	
SLP	6.25 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>	0.23	1.09	0.45 <sup>b</sup>	0.51 <sup>a</sup>	0.32	1.42 <sup>a</sup>	
D.S.	$\pm 0.73$	$\pm 0.47$	$\pm 0.05$	$\pm 0.19$	$\pm 0.05$	$\pm 0.15$	$\pm 0.06$	$\pm 0.31$	
TEX	6.45 <sup>a</sup>	2.65 <sup>a</sup>	0.21	0.88	0.46 <sup>a,b</sup>	0.57	0.28	1.19	
D.S.	$\pm 0.54$	$\pm 0.52$	$\pm 0.04$	$\pm 0.17$	$\pm 0.06$	$\pm 0.11$	$\pm 0.04$	$\pm 0.22$	
BSF*	8.69	3.87	0.26	1.24 <sup>a</sup>	0.63	0.91	0.39	1.93	
D.S.	$\pm 0.20$	$\pm 0.17$	$\pm 0.02$	$\pm 0.04$	$\pm 0.03$	$\pm 0.02$	$\pm 0.02$	$\pm 0.07$	

longitud total (lt), longitud abdomen (lab), longitud furca (lf), longitud antena (lan), ancho abdomen (aab), ancho cabeza (ac), diámetro ojo (od), distancia entre ojos (deo).

Misma letra en columnas indica no diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

\*Valores obtenidos por Castro (2004).

Tabla 7. Las dos funciones canónicas principales (estandarizadas con la varianza) y los resultados canónicos de los valores promedio de los adultos de *A. franciscana*.

Función canónica (estandarizada con la varianza)	Factor 1	Factor 2
Longitud total	0.061	0.275
Longitud abdomen	-0.010	0.376
Longitud furca	-0.090	0.245
Longitud antena	-0.086	0.182
Ancho abdomen	-0.046	0.509
Ancho cabeza	0.093	0.491
Diámetro ojo	0.037	0.393
Distancia entre ojos	0.973	-0.015

Medias grupales de la funcion canónica	Factor 1	Factor 2
CCIEN	-5.286	-0.493
SFB	-1.165	7.255
SLP	-5.515	-2.489
TEX	-6.942	-2.821
ZAC	18.907	-1.452

Valores Eigen	96.285	14.304
Correlación canónica	0.995	0.967
Proporción acumulada	0.829	0.952

**Biometría de las hembras adultas:** Los valores promedio ( $\pm$  D.S.) se muestran en la Tabla 8. Las hembras de BSF mostraron los valores más altos, solamente la longitud de la furca en la población de CCIEN, es más grande. La hembra más grande de las poblaciones mexicanas fue la de ZAC y el valor más bajo fue para la de TEX.

Tabla 8. Valores promedio de la biometría de las hembras ( $\pm$ D.S.) de las poblaciones de *A. franciscana*.

Population	Variables biométricas								
	lt	lab	lf	lan	aov	aab	ac	od	deo
C.CIEN	7.89	3.65 <sup>a</sup>	0.49	0.62	0.60	1.59 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.27	1.24
D.S.	$\pm 1.50$	$\pm 0.94$	$\pm 0.12$	$\pm 0.16$	$\pm 0.11$	$\pm 0.55$	$\pm 0.09$	$\pm 0.03$	$\pm 0.19$
ZAC	10.04	3.73 <sup>a</sup>	0.16	0.58 <sup>a</sup>	0.64	1.64 <sup>a</sup>	0.93	0.25 <sup>a</sup>	1.38
D.S.	$\pm 0.34$	$\pm 0.27$	$\pm 0.02$	$\pm 0.05$	$\pm 0.02$	$\pm 0.10$	$\pm 0.04$	$\pm 0.04$	$\pm 0.05$
SLP	7.50	3.68 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	0.50	1.19	0.46	0.23 <sup>a</sup>	1.11
D.S.	$\pm 0.77$	$\pm 0.64$	$\pm 0.08$	$\pm 0.08$	$\pm 0.05$	$\pm 0.26$	$\pm 0.10$	$\pm 0.03$	$\pm 0.15$
TEX	6.57	3.16	0.46	0.51	0.42	0.87	0.59 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.85
D.S.	$\pm 0.88$	$\pm 0.64$	$\pm 0.12$	$\pm 0.08$	$\pm 0.08$	$\pm 0.24$	$\pm 0.12$	$\pm 0.03$	$\pm 0.22$
SFB*	11.15	5.26	0.32 <sup>a</sup>	0.84	0.95	2.20	1.18	0.33	1.84
D.S.	$\pm 0.34$	$\pm 0.22$	$\pm 0.02$	$\pm 0.04$	$\pm 0.04$	$\pm 0.12$	$\pm 0.04$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$

Longitud total (lt), longitud abdomen (lab), longitud furca (lf), longitud antena (lan), ancho ovisaco (aov), ancho abdomen (aab), ancho cabeza (ac), diámetro de ojos (od) y distancia entre ojos (deo).

Misma letra en columna indica no diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

\*Valores obtenidos por Castro (2004).

El análisis de ANDEVA mostró que las poblaciones de hembras estudiadas presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ellas con respecto a la longitud total, ancho del ovisaco, y la distancia entre los ojos.

La población de hembras de TEX mostró diferencias significativas con las demás poblaciones de aguas interiores en todas las variables biométricas consideradas. La población de TEX no

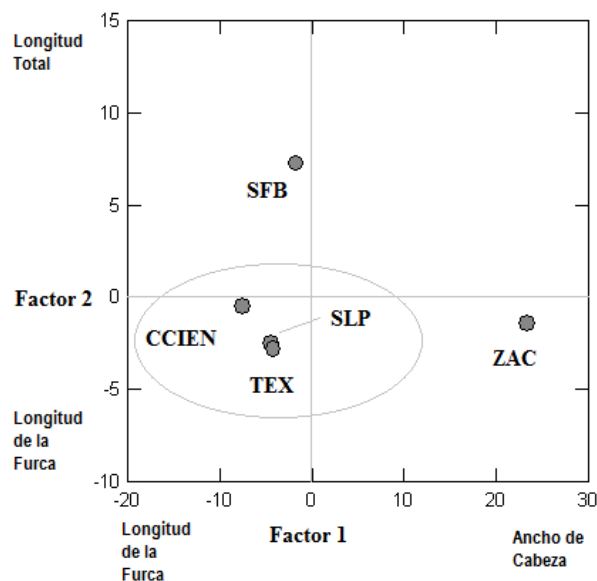


Fig. 3. Comparación del análisis discriminante de la biometría de los machos adultos de las poblaciones mexicanas de aguas interiores con respecto a BSF.

mostró diferencias significativas con la población de CCIEN en el ancho de la cabeza y con las poblaciones de ZAC y SLP en el diámetro del ojo.

Tabla 9. Resultados de la clasificación del análisis discriminante  
Classification results of discriminant analysis on adult male biometry  
showing the percentages of populations classified in each group.

Populations	% correct	<i>Artemia franciscana</i> strains				
		CCIEN	SFB	SLP	TEX	ZAC
CCIEN	93	28	0	2	0	0
SFB	100	0	30	0	0	0
SLP	100	0	0	30	0	0
TEX	97	0	0	1	29	0
ZAC	100	0	0	0	0	30
Total	98	28	30	33	29	30

Con respecto al análisis discriminante, las poblaciones de hembras de *Artemia* estudiadas muestran un 98% de clasificación correcta en cada grupo en la matriz de Jackknifed (Tabla 9).

Tabla 10. Las principales dos funciones canónicas (estandarizadas con la varianza) y los resultados canónicos de las medias grupales de hembras adultas de *A. franciscana*.

Función canónica discriminante estandarizada con la varianza	Factor 1	Factor 2
Longitud total	0.462	0.384
Longitud del abdomen	0.198	-0.287
Longitud de la furca	-0.331	-0.653
Longitud antena	0.141	-0.537
Ancho ovisaco	0.521	-0.308
Ancho abdomen	0.497	0.016
Ancho cabeza	0.533	0.299
Diámetro del ojo	0.062	-0.314
Distancia entre ojos	0.397	-0.094

Resultados canónicos de las medias grupales	Factor 1	Factor 2
CCIEN	-4.170	-3.396
SFB	17.571	-2.118
SLP	-7.411	-0.339
TEX	-11.226	0.614
ZAC	5.237	5.238

Valores Eigen	110.582	9.092
Correlación canónica	0.996	0.949
Proporción acumulada	0.899	0.973

El 97.3% de la información se explica con las dos primeras funciones canónicas de discriminación. En las hembras, las variables

biométricas con mayor peso en la discriminación canónica fueron el ancho de la cabeza y la longitud total de forma positiva; en cambio en forma negativa la longitud de la furca Fig.4).

En la Tabla 10 se muestra la función canónica discriminante (estandarizada con la varianza) y los resultados canónicos de las medias grupales de las dos funciones canónicas principales, las cuales explican el 97.3% de la información generada.

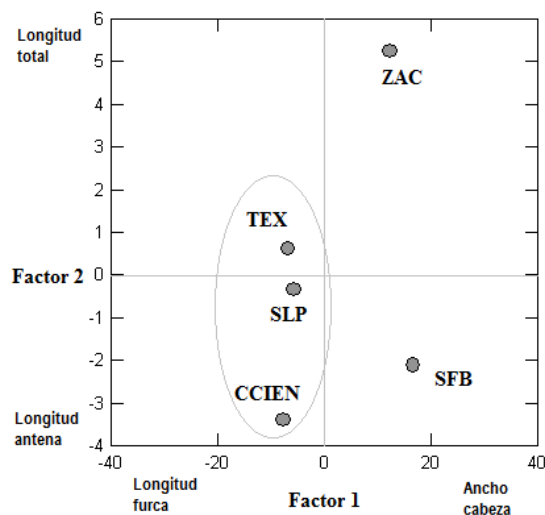


Fig. 4. Comparación del análisis discriminante de la biometría de las hembras adultas mexicanas de *Artemia* de aguas interiores, con respecto a BSF.

## DISCUSIÓN

Este estudio provee de una gran oportunidad para adquirir un mejor conocimiento de los estudios biométricos con quistes, nauplios y adultos (machos y hembras) de la especie *A. franciscana* proveniente con poblaciones de aguas interiores. Como se puede observar en este trabajo, tres de estas poblaciones (ZAC, SLP y TEX) se separan de la población de CCIEN, localizada al norte de México, ya que esta presenta la talla de nauplio más grande, mientras que la población de BSF se separa de las de México por tener la talla del nauplio más pequeña.

Estas poblaciones se separan posiblemente por las mismas características como lo mencionan

Vanhaecke y Sorgeloos (1980) en su estudio con quistes de diferentes localidades, los cuales mencionan que las poblaciones de quistes se diferencian por tres características principales: aquellas que presentan tamaños pequeños; aquellas que presentan tamaños grandes; y aquellas que se encuentran entre un valor intermedio entre estas dos medidas.

Hontoria (1990), estudio 14 poblaciones de *A. franciscana* encontrando que el diámetro de los quistes se encuentra en un rango de 217-230  $\mu\text{m}$ , rango muy similar con estas poblaciones mexicanas, las cuales se encuentran en el rango de 228-231  $\mu\text{m}$ , las cuales también son muy similares a las obtenidas en *Artemia* (230  $\mu\text{m}$ ) y *Artemia sinica* (232  $\mu\text{m}$ ) (Asem et al. 2007). Sin embargo, estas dimensiones son pequeñas con respecto a quistes de Galera Zamba (Colombia), los cuales tienen un diámetro de 242  $\mu\text{m}$  y el Gran Lago Salado, Utah US, con 245  $\mu\text{m}$ , la cual sigue siendo la misma especie *A. franciscana* (Hontoria 1990). Los quistes de las poblaciones de aguas interiores son más pequeños que los quistes de la especie *A. urmiana* (265.82  $\mu\text{m}$ ) (Asem et al. 2007), *Artemia* sp. (230.05  $\mu\text{m}$ ) y *A. sinica* (232.75  $\mu\text{m}$ ). Triantaphyllidis et al. (1996), destacó que para dos poblaciones de *Artemia* de Namibia y Madagascar, el valor del diámetro del quiste fue de 247.7 and 285.9  $\mu\text{m}$  respectivamente, y el diámetro del embrión descapsulado de 233.1 y 246.2  $\mu\text{m}$  respectivamente.

Una de las poblaciones de *Artemia* que presenta el diámetro más grande es la especie *A. tibetiana* con un valor de 323  $\mu\text{m}$ . Cohen et al. (1999) reportaron valores para la especie *A. persimilis* un intervalo entre 230.3 a 246.1  $\mu\text{m}$ .

Cabe destacar que las poblaciones de *A. franciscana* de aguas interiores de México, presentan un intervalo similar a la población de BSF, pero se inicia un proceso de separación, ya que autores como Bowen et al. (1985, 1988), Hontoria y Amat (1992), Asem et al. (2007), mencionan que la composición iónica de cada hábitat en particular, así como las condiciones ambientales que sufre cada hábitat, así como el tipo de alimento y su disponibilidad para las diferentes poblaciones de *Artemia*, puede llegar a ser tan diferente, que como lo mencionan Abatzopoulos et

al. (2006) y Asem et al. (2007), producen un aislamiento ecológico, cuyo resultado provoca no solamente diferencias en la morfología, sino también en la biometría de las poblaciones de *Artemia* en su hábitat natural.

Con respecto a la biometría de adultos (machos y hembras), como lo mencionan Asem y Rastegar-Pouyani (2007), el dimorfismo sexual que se presenta en este organismo forma diferentes patrones de tamaños en las poblaciones de *Artemia* y por lo tanto es importante estudiar estos dos estadios por separado. En muchos de los organismos vertebrados, el macho presenta un mayor tamaño debido a la competencia que debe de tener para obtener una hembra (Anderson 1994). En el caso de otros taxa, son las hembras las que presentan el mayor tamaño, como sucede en la *Artemia* (Figuerola 1999; Asem y Rastegar-Pouyani 2007).

En el caso de las poblaciones estudiadas en esta investigación, se observa que la población de BSF se encuentra separada de las mexicanas debido a su gran tamaño tanto en machos, como en hembras. Pero en el caso de los machos, las poblaciones de aguas interiores de México, se observa que la población de ZAC se separa de las otras tres (CCIEN, SLP y TEX), debido a que la longitud de la furca y el ancho de la cabeza presenta un mayor tamaño. En el caso de las hembras adultas, la población de ZAC se separa por el ancho de la cabeza y la longitud total. Es por esto que Mayr y Ashlock (1991), y Asem y Rastegar-Pouyani (2007), mencionan que es importante estudiar a las poblaciones de *Artemia*, separando machos y hembras debido a la marcada diferencia en el dimorfismo sexual entre estos dos estadios.

Estudios realizados por Zhou et al. (2003), Asem (2005) y Asem y Rastegar-Pouyani (2007, 2008), con respecto a las especies *A. sinica* y *A. tibetiana*, al igual que las poblaciones de aguas interiores de México, presentan una mejor clasificación correcta el estadio de hembras adultas, que los machos, en contraste con lo que Camargo et al. (2003), reportan con una población de *A. franciscana* procedente del Caribe Colombiano, en donde el estadio de machos presentó una mejor clasificación de sus valores biométricos. Por esta razón, es mucho mejor considerar tanto a los



machos y a las hembras en este tipo de estudios con este género de *Artemia*.

El gran tamaño de las hembras es explicado por Triantaphyllidis (1997), debido a la ventaja que se tiene durante la cruce, en donde es la hembra la que tiene que “cargar” al macho durante la copulación.

Basado en todos estos resultados, podemos inferir que las poblaciones mexicanas de aguas interiores de *A. franciscana* han comenzado a sufrir una separación con respecto a la población “originaria” de la especie *A. franciscana* procedente de la Bahía de San Francisco, Calif. EUA, pero también ha comenzado a formarse dos grupos, uno en donde la población de ZAC se separa de las otras tres poblaciones de aguas interiores (SLP, CCIEN y TEX), debido a un aislamiento ecológico causado principalmente por la composición iónica del hábitat particular de cada una de ellas (Bowen et al. 1985, Asem and Rastegar-Pouyani 2008).

## BIBLIOGRAPHY

- Abatzopoulos TJ, B Zhang y P Sorgeloos. 1998. *Artemia tibetiana*: preliminary characterization of a new *Artemia* species found in Tibet (People's Republic of China). Int. J. Salt Lake Res. 7: 41-44.
- Abatzopoulos TJ, JA Beardmore, JS Clegg y P Sorgeloos. 2002. *Artemia*: Basic and Applied Biology. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Abatzopoulos TJ, N El-Bermawi, C Vasdekis AD, Baxevanis y P Sorgeloos. 2003. Effects of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia* (International study on *Artemia*, LXVI). Hydrobiologia 492: 191-199.
- Abatzopoulos TJ, N Agh, G Van Stappen, SM Razavi-Rouhani y P Sorgeloos. 2006<sup>a</sup>. *Artemia* sites in Iran. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 86: 229-307.
- Abatzopoulos TJ, AD Baxevanis, GV Triantaphyllidis, G Criel, EL Pador, G Van Stappen y P Sorgeloos. 2006<sup>b</sup>. Quality evaluation of *Artemia urmiana* Günther (Urmia Lake, Iran) with special emphasis on its particular cyst characteristics (International Study on *Artemia*, LXIX). Aquaculture 254: 442-454.
- Agh N, G Van Stappen, G Bossier, P Sepehri, H Lofti, V Rouhani y P Sorgeloos. 2008. Effects of salinity on survival, growth, reproductive and life span characteristics of *Artemia* populations from Urmia Lake and neighboring lagoons. Pak. J. Biol. Sci. 11: 164-172
- Baxevanis AD, N El-Bermawi, TJ Abatzopoulos y P Sorgeloos. 2004. Salinity effects on maturation, reproductive and life span characteristics of four Egyptian *Artemia* populations. Hydrobiologia 513: 87-100.
- Bowen ST, EA Fogarino, KN Hitchner, GL Dana, VHS Chow, MR Buoncristiani y JR Carl. 1985. Ecological isolation in *Artemia*: population differences in tolerance of anion concentrations. J. Crust. Biol. 5: 106-129.
- Browne RA, SE Salee, DS Grosch, WO Segreti y SM Purser. 1984. Partitioning genetics and environmental components of reproduction and life span in *Artemia*. Ecology 65: 949-969.
- Browne RA y ST Bowen. 1991. Taxonomy and population genetics of *Artemia*, p. 221-235. En Browne RA, P Sorgeloos y CNA Trotman (eds.) *Artemia* Biology. CRC Boca Raton, Florida, USA.
- Browne RA and G Wanigasekera. 2000. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of *Artemia*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 244: 29-44.
- Castro MJ. 2004. Caracterización Morfométrica y reproductiva (hibridación) de siete poblaciones de *Artemia franciscana* en México, en relación a su hábitat y latitud. Master Degree Thesis, Universidad Autónoma Metropolitana, México. 116 p.
- Castro BT, JM Castro y GM Castro. 2003. *Artemia*, p. 67-81. En Castro TB. (Comp.) Alimento vivo para organismos acuáticos. AGT. México.
- Castro BT, AS Malpica, JM Castro, GM Castro y AR De Lara. 2000. Environmental and biological characteristics of *Artemia* ecosystems in México: and updated review, p. 191-202. En Munawar M, SG Lawrence, IF Munawar y DF Malley (eds.), Aquatic Ecosystems of México. Status and scope. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- El-Bermawi N, AD Baxevanis, TJ Abatzopoulos, G Van Stappen y P Sorgeloos. 2004. Salinity effects on survival, growth and morphometry of four Egyptian *Artemia* populations (International study on *Artemia*, LXVII). Hydrobiologia 523:175-188.
- Kachigan SK. 1991. Multivariate statistical analysis. A conceptual introduction. Radius. New York, EEUU.
- Lenz PH. 1987. Ecological studies on *Artemia*: a review, p. 5-18. En Sorgeloos P, DA Bengtson, W Decler y E.Jaspers (eds.), *Artemia* Research and its Applications, Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Universa. Wetteren, Belgium.
- Litvinenko LI, AV Koslov, AI Kovalenko y DS Bauer. 2007. Salinity of water as a factor to determine the development of the brine shrimp *Artemia*

- populations in Siberian lakes. *Hydrobiologia* 576: 95-101.
- Mayer RJ. 2002. Morphology and biometry of three populations of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) from the Dominican Republic and Puerto Rico. *Hydrobiologia* 486: 29-38.
- Naceur HB, AB Rejeb-Jenhani y MS Romdhane. 2009. Ecobiological survey of the brine shrimp *Artemia salina* from Sabkhet El Adhibet (south-east Tunisia). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 89: 1109-1116.
- Pilla EJS y JA Beardmore. 1994. Genetic and morphologic differentiation in old world bisexual species of *Artemia* (the brine shrimp). *Heredity* 72: 47-56.
- Post FJ y NN Youssef. 1977. A prokaryotick intracellular symbiont of the Great Salt Lake brine shrimp *Artemia salina* (L.). *Can. J. Microbiol.* 23: 1232-1236.
- Rodríguez-Almaraz AG, C Zavala, R Mendoza y AM Maeda-Martínez. 2006. Ecological and biological notes on the brine shrimp *Artemia* (crustacean: Branchiopoda: Anostraca) from Carmen Island, Baja California Sur, México. *Hydrobiologia* 560: 417-423.
- Sokal RR y JF Rohlf. 1981. *Biometry*. W.H. Freeman. San Francisco, CA, EEUU.
- Tackaert W y P Sorgeloos. 1991. Semiintensive culturing in fertilized ponds. p. 287-312. En Browne RA, P Sorgeloos y CNA Trotman (eds.). *Artemia Biology*. CRC. Boston, EEUU.
- Tatsuoka MM. 1970. Selected topics in advanced statistics. An Elementary Approach. No.6. Discriminant Analysis. IPAT. Illinois, EEUU.
- Triantaphyllidis GV, K Pouloupoulou, TJ Abatzopoulos, CA Pinto-Perez y P Sorgeloos. 1995. International study on *Artemia* XLIX. Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of *Artemia*. *Hydrobiologia* 302: 215-227.
- Triantaphyllidis GV, GRJ Criel, TJ Abatzopoulos y P Sorgeloos. 1997<sup>a</sup>. International study on *Artemia*. LVIII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World populations. I. Bisexual populations. *Hydrobiologia* 357: 139-153.
- Triantaphyllidis GV, GRJ Criel, TJ Abatzopoulos, KM Thomas, J Peleman, JA Beardmore y P Sorgeloos. 1997<sup>b</sup>. International study on *Artemia*. LVII. Morphological and molecular characters suggest conspecificity of all bisexual European and North African *Artemia* populations. *Mar. Biol.* 129:477-487.
- Triantaphyllidis GV, TJ Abatzopoulos y P Sorgeloos. 1998. Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *J. Biogeogr.* 25: 213-226.
- Vanhaecke P, SE Siddal y P Sorgeloos. 1984. International study on *Artemia*. XXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 80: 259-275.
- Van Stappen G. 2002. Zoogeography, p. 171-224. En Abatzopoulos TJ, JA Beardmore, JS Clegg y Sorgeloos P. (eds.), *Artemia: Basic and Applied Biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands.
- Wear RG y SJ Haslett. 1986. Effects of temperature and salinity on the biology of *Artemia franciscana* Kellogg from Lake Grassmere, New Zealand. 1. Growth and mortality. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 98: 153-166.