

Variación del patrón reproductivo de dos poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana* (Branchiopoda: Anostraca) y su comparación con la población de Bahía de San Francisco, California.

J. Castro Mejía, A. Malpica Sánchez, G. Castro Mejía, T. Castro Barreray R. De Lara Andrade
Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Depto. El Hombre y su Ambiente
Calz. del Hueso 1100, Col. Villa Quietud. México, 04960, D.F.
FAX (5)7235469. Email: camj7509@cueyatl.uam.mx

Recibido 14-I-1999. Corregido 12-III-1999. Aceptado 12-IV-1999.

Abstract: The reproductive characteristics of the populations of *A. franciscana* of Yavaros, Sonora; Bahía de Ceuta, Sinaloa, and San Francisco Bay, California U.S.A. were obtained in controlled conditions (salinity and temperature) and the following data were collected: length of male and female adults; width of abdomen and ovigerous sac; prereproductive, reproductive and postreproductive period; number and frequency of broods, and number and percentage of the offspring produced per brood per female. San Francisco adults were larger and wider than those of Yavaros or Bahía de Ceuta. The total reproductive period was 43.6 days in Yavaros females and 29.7 days in Bahía de Ceuta. The number of broods was 5 for Yavaros and 3 for Ceuta as opposed to 14 for those of San Francisco. The period between broods was 4 days on average for the three populations. The average output of Yavaros was of 74 nauplii and 10 cysts/brood/female; for Bahía de Ceuta it was 22 nauplii and 5 cysts/brood/female. Output increased when both populations were crossed with males from San Francisco Bay; the females of Yavaros had 400 nauplii per brood and the females of Bahía de Ceuta yielded 46 cysts per brood. These increases in production are attributed to the greater intensity in courtship being in proportion to the size of the males. San Francisco males, being larger, exhibit a greater intensity in courtship even when females are smaller.

Key words: *Artemia*, crossbreeding, fertility, reproduction, Mexico.

El crustáceo conocido como *Artemia*, con una amplia distribución mundial, tiene diferencias morfológicas, bioquímicas y biológicas, que resultan de las variaciones de factores climáticos, hidrológicos y biológicos. En la reproducción, también se aprecian adaptaciones a las condiciones ambientales de cada hábitat. En América *A. franciscana* es la especie dominante y manifiesta una reproducción sexual, con alternancias de eclosión ovípara y ovovípara dependiendo de las condiciones del medio (Browne *et al.* 1984). Los huevos pueden eclosionar inmediatamente después de ser expulsados por la hembra, o bien pueden ser envueltos en una capa de quitina y los embriones permanecer en estado de latencia (diapausa o

criptobiosis) hasta ser activado y dar origen a la larva libre nadadora llamada nauplio. (Lochhead & Lochhead 1940, Amat 1985).

Sobre el comportamiento reproductivo de *Artemia*, estudios que relacionan su metabolismo con la temperatura y la salinidad se han llevado a cabo con especies partenogenéticas y bisexuales en diferentes partes del mundo (Amat 1984, Browne *et al.* 1988, Dana *et al.* 1993; Kuruppu & Ekaratne 1995, Triabtaphyllidis *et al.* 1995; Wang & Zhang 1995, Barata *et al.* 1996). Otros factores que también influyen en el patrón reproductivo son la talla de los individuos adultos, como lo señalan Forbes *et al.* (1992), y la calidad y cantidad del alimento (Nimura *et al.* 1994).

En México se han llevado a cabo estudios de reproducción con poblaciones de *A. franciscana* en el Estado de Oaxaca (Malpica *et al.* 1995). Castro *et al.* (1996), señalaron la influencia de la salinidad en el comportamiento reproductivo de la población de Yavaros; Gallardo & Castro (1987), hicieron cruza en cuatro poblaciones de *Artemia* de México, dentro de las cuales están Yavaros y Bahía de Ceuta. De estas dos poblaciones también se han hecho estudios morfométricos (Correa & Bückle 1993, Bravo 1997, López 1997).

Este estudio pretende contribuir al conocimiento del patrón reproductivo de *Artemia* de Bahía de Ceuta, Sinaloa y de las salinas de Yavaros, Sonora; aunado a los conocimientos ya generados de estas poblaciones, será útil para proponer opciones que aumenten la fertilidad de las mismas al ser cruzadas con *A. franciscana* de Bahía de San Francisco, California, para incrementar los rendimientos en sus posibles cultivos.

MATERIAL Y METODOS

Los quistes de *Artemia* utilizados en este trabajo fueron recolectados en marzo de 1984 en la Bahía de Ceuta (BC), Estado de Sinaloa, México y en octubre de 1992 en las salinas de Yavaros (YAV), Estado de Sonora, México. Los quistes de Bahía de San Francisco (BSF) fueron obtenidos de la compañía San Francisco Bay Brand (lote noviembre de 1985).

Para lograr la eclosión de los quistes de las tres poblaciones fue utilizada la técnica descrita por Sorgeloos *et al.* (1986). Los nauplios obtenidos se colocaron en recipientes de plástico con 25 l de una solución salina a 75 g/l, a 25°C \pm 2°C y aireación continua; se alimentaron con salvado de trigo a una concentración de 100g/1000ml de solución salina de 90 g, hasta que llegaron a la diferenciación sexual.

Los organismos fueron separados en machos y hembras; las hembras se mantuvieron en observación hasta que los óvulos aparecieron en los oviductos.

Se midió la longitud total de los adultos y a las hembras además el ancho del abdomen y

del saco ovígero. Estos datos morfométricos se utilizaron para relacionar la talla del adulto con los productos (quistes, huevos inmaduros, nauplios, /puesta/hembra). En este trabajo se utilizó el término huevos inmaduros descrito por Malpica *et al.* (1995) y que Amat (1984), menciona como huevos defectuosos.

En cada frasco de 250 ml con agua a salinidad de 75 g/l, se colocaron una hembra y dos machos. Se registró diariamente la producción de quistes, huevos inmaduros y nauplios de la primera generación (F1).

Se hicieron siete cruza y cada una con 25 réplicas. Las cruza fueron las siguientes:

σ BC/ ϕ BC; σ YAV/ ϕ YAV; σ BSF/ ϕ BSF;
 σ BC/ ϕ BSF; σ BSF/ ϕ BC; σ YAV/ ϕ BSF;
 y σ BSF/ ϕ YAV

Cada experimento permaneció hasta que los ejemplares dejaron de reproducirse ó murieron. Para determinar las características reproductivas y del período de vida de las hembras, se siguió el método propuesto por Browne *et al.* (1984), el cual determina tres fases: pre-reproductiva (desde el día de la eclosión hasta el día que se tuvo la primera puesta); reproductiva (desde el día de la primera puesta hasta la última puesta); y post-reproductiva (desde la última puesta hasta la muerte de la hembra).

Las características reproductivas identificadas fueron: número de puestas, tiempo entre puestas, número de quistes, huevos inmaduros y nauplios por puesta y la producción total.

RESULTADOS

A los valores obtenidos de las mediciones morfométricas (longitud total, ancho del abdomen y ancho del saco ovígero), No. de puestas y lapso entre ellas, se les realizó, en primer lugar, un análisis de estadística descriptiva, así como una prueba "t" para determinar si en las medias de las poblaciones existen diferencias significativas ($P \leq 0.01$). Esto se llevó a cabo por medio del paquete estadístico de análisis de datos del programa Excel 97.

CUADRO 1

Longitud total, ancho del abdomen y ancho del saco ovífero de los sexos de las poblaciones de Artemia en estudio

Poblaciones	Longitud total (mm)		Ancho del abdomen (mm)		Ancho del saco ovífero (mm)
	Macho	Hembra	Macho	Hembra	
Tres Hermanos	4.8791	5.5597	0.2856	0.3478	0.8777
Yavaros	(0.3658)	(0.8941)	(0.0461)	(0.0399)	(0.1674)
Bahía de Ceuta	4.7013	6.1328	0.3852	0.4154	0.9865
	(0.2811)	(0.4557)	(0.0496)	(0.0563)	(0.1360)
Bahía de San Francisco	7.0866	10.2533	0.6286	0.9146	2.0640
	(0.3795)	(0.8941)	(0.0651)	(0.0341)	(0.2990)

Nota: Desviación estándar en paréntesis.

En el Cuadro 1 se presentan las medidas de longitud total de machos y de hembras de las poblaciones estudiadas. Resaltan las tallas de machos y hembras de BSF, encontrando diferencias significativas entre machos de YAV/BSF ($p=0.000006$) y BC/BSF ($p=0.00028$). En cuanto a hembras, la comparación entre medias de YAV/BSF no muestra diferencias significativas ($p=0.073$), no así entre BC/BSF el cual tiene valores de $p=0.0018$. La longitud total de las hembras y de los machos de BC y de YAV es casi igual, solamente se registró una diferencia de 0.17 mm para el macho y de 0.58 mm para la hembra, encontrando que no existe una diferencia significativa entre sus medias ($p=0.037$ para machos; $p=0.073$ para hembras). Las hembras de BSF también tienen mayor superficie de abdomen y de saco ovífero (2.0 mm y 0.9 mm respectivamente) que al compararlo con los valores de YAV y BC encontramos diferencias significativas, ya que se tienen valores de $p=0.000019$

para YAV/BSF y de $p=0.00032$ para BC/BSF:

En la Fig. 1 se aprecia el promedio de los períodos reproductivos de las tres poblaciones. Las hembras de BSF presentan un valor más alto en días en los tres períodos, sobresaliendo el período reproductivo con 56.2 días. De las poblaciones mexicanas, YAV mostró valores mayores que los de BC.

En cuanto a los caracteres reproductivos se observó que el número de puestas de BSF tuvo el valor más alto con 14, le sigue YAV con 5 y por último BC con 3. Al comparar las medias para encontrar diferencias significativas se obtuvo que las tres poblaciones son diferentes entre sí ya que la relación YAV/BSF presentó un valor de $p=0.000013$; la relación BC/BSF tiene un valor de 0.0000058 y la relación YAV/BC, aunque no presenta una diferencia tan grande, presenta un valor de $p=0.003$.

En cuanto al promedio de días entre cada puestas fue de 4 en las tres poblaciones.

En el Cuadro 2 se observan los valores promedio de producción de nauplios, quistes y huevos inmaduros en cada puesta, la población de BC mostró la menor producción que las otras dos. Las hembras de YAV presentaron el mayor número de productos (117.16) en promedio por puesta, pero también en esta población se observó el mayor número huevos inmaduros (33). Las hembras de BSF siguen siendo las que tienen mayor número de productos viables de las tres poblaciones estudiadas.

En cuanto al porcentaje de la composición de la producción en las tres poblaciones, se

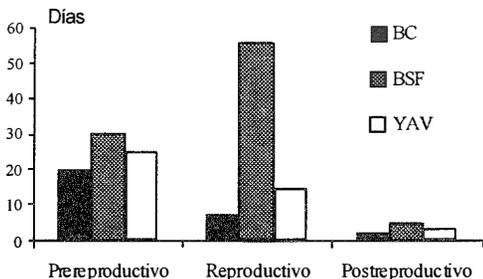


Fig. 1. Promedio de los períodos reproductivos de *Artemia* de las tres poblaciones estudiadas.

CUADRO 2

Promedio de los productos por puesta de las hembras de las poblaciones estudiadas

Productos	BC		YAV		BSF	
	Número promedio	%	Número promedio	%	Número promedio	%
Nauplio	22.41	70.56	73.80	62.99	80.09	72.0
Quiestes	4.69	14.76	10.36	8.84	31.3	28.0
Huevos inmaduros	4.66	14.67	33.00	28.16	0.0	0.0
Totales		100.00		100.00		100.00

CUADRO 3

Promedio del número de productos obtenidos (F1) por puesta, en las cruza estudiadas.

Cruza	Nauplio		Quieste		Huevos inmaduros	
	Número promedio	%	Número promedio	%	Número promedio	%
♂BC/♀BSF	21.46	35.73	1.30	2.16	37.30	62.10
♂BSF/♀BC	93.3	61.42	46.30	30.48	12.30	8.09
♂YAV/♀BSF	173.23	79.24	1.15	8.52	44.23	20.23
♂BSF/♀YAV	400.4	77.00	10.40	2.00	109.20	21.00

puede ver que todas tuvieron, en condiciones de laboratorio, mayor porcentaje de nauplios, ya que es del 70%, con relación a la producción de quiestes que fue de sólo 28% en BSF y de 14.76% y 8.84% en BC y YAV respectivamente.

El número de productos y su porcentaje en la composición de la producción por puesta de los experimentos realizados con las cruza, se muestran en el Cuadro 3. Durante estos experimentos no se detectó ningún aislamiento reproductivo sino que se observó un incremento en la producción, de hasta 1,000%, sobre todo con la población de YAV. Los huevos inmaduros producidos por las hembras de YAV y BC en las cruza con BSF no presentaron viabilidad.

DISCUSION

Las hembras de Bahía de Ceuta siempre mostraron un menor número de días en los períodos prereproductivo, reproductivo y postreproductivo que las hembras de Yavaros. Ambas poblaciones mexicanas mostraron menor número

de días en estos períodos que *Artemia* de la Bahía de San Francisco, la cual mostró los valores mayores tanto en períodos como en número de puestas; las tres poblaciones, se comportan casi igual en cuanto a la frecuencia que tienen las hembras para efectuar las puestas y que es de 4 días en promedio.

De las dos poblaciones mexicanas, la de Yavaros tiene mayor potencial reproductivo. Un producto obtenido que resulta interesante de estudiar es el de los huevos inmaduros, que también se han observado en la población nativa de *Artemia* en Oaxaca, México (Malpica *et al.* 1995) y que en el presente trabajo aparecieron en las dos poblaciones mexicanas. Estos huevos aunque se les aplicó la técnica tradicional de eclosión propuesta por Sorgeloos *et al.* (1986), no dieron origen al nauplio. Amat (1984), solamente menciona a estos huevos como defectuosos, este fenómeno podría ser que son óvulos no fecundados, para lo cual, es necesario desarrollar nuevas investigaciones al respecto que permitan determinar si los óvulos realmente no han sido fecundados o se debe aplicar otras técnicas de eclosión. Estos

huevos se pusieron a eclosionar sin obtener producto alguno por lo que se considera que es un gasto energético que hacen estas hembras sin algún provecho.

El número de productos obtenidos por puesta en las hembras de las tres poblaciones estudiadas, muestra que hay una relación directa con el tamaño de los progenitores, tanto hembras como machos. Los individuos, de ambos sexos, de BSF son muy superiores en tamaño a los de BC y YAV y fueron los que tuvieron el mayor número de productos. Se presume que debe haber una relación del tamaño de los adultos con su apareamiento como lo señalan Forbes *et al.* (1992), quienes dicen que los machos y hembras grandes tienen apareamientos más frecuentes que los machos y las hembras pequeños. Otro aspecto importante en el patrón reproductivo es el ancho del ovisaco, y el ancho del abdomen en las hembras (Amat 1984), como se determinó en el mayor número de productos en el ovisaco de las hembras de BSF. También no hay que olvidar que es necesario hacer estudios ecológicos y determinar aquellos factores que afectan directamente en las características biológicas de la especie y por consiguiente en el patrón reproductivo (Browne *et al.* 1988, Nimura *et al.* 1994; Wang & Zhang 1995).

Las hembras de YAV al aparearse con los machos de BSF, dieron el mayor número de nauplios por puesta y las hembras de BC al aparearse con los de BSF dieron el mayor número de quistes por puesta lo cual se podría interpretar como un mayor potencial reproductivo de los machos de BSF, los cuales son de mayor tamaño y por lo tanto estimulan más a las hembras, que los machos pequeños y aunque se encuentran con hembras de tamaño pequeño, como es el caso de las dos poblaciones mexicanas, entran inmediatamente en la pre-copulación. Las cruces de hembras de tallas grandes como la de BSF con machos pequeños como los de BC y YAV obtuvieron menor número de productos; se sugiere que las hembras de tallas mayores muestran menor interés en copular con machos pequeños. Por otra parte, al efectuarse estas cruces y en individuos con

diferencia marcada de tallas de las dos poblaciones mexicanas de *Artemia* y la de BSF, se incrementó considerablemente el número de huevos inmaduros. Se sugiere que estos son productos de corta vida que se presentan cuando hay desigualdad marcada en las tallas, pero también se puede deber a cierta deficiencia de fertilidad de las poblaciones, para lo cual se deberán realizar estudios de tipo genético.

REFERENCIAS

- Amat, F.D. 1984. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustáceo-Branquiópodo) de España. Intercanvi. Científic I Extensio Universitaria. Universitat de Barcelona. 25 p.
- Barata, C., F. Hontoria., F. Amat & R. Browne. 1996. Demographic parameters of sexual and parthenogenetic *Artemia*: temperature and strain effects. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 196: 329-340.
- Bravo, G.C. 1997. Caracterización morfométrica y reproductiva de la población mexicana de *Artemia* sp. presente en la "Bahía de Ceuta", Sinaloa, México; e hibridación con *Artemia franciscana*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CBS. Distrito Federal. México. 47 p.
- Browne, R.A., L. E. Davis & S.E. Salle. 1988. Effects of temperature and relative fitness of sexual and asexual-brine shrimp *Artemia*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 124: 1-20.
- Browne, R.A., S. E. Salle, D. S. Grosch., W. O. Segreti & S. M. Purser. 1984. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia*. Ecology 65:949-960.
- Castro, M. G., J. Castro, A. Malpica; R. De Lara & T. Castro. 1996. Aspectos del comportamiento biológico de *Artemia franciscana* de la población de Yavaros, Sonora, cultivada en diferentes salinidades. Oceanología 12:7-13.
- Correa, S.F. & Bückle, R.L.F. 1993. Morfología y biometría de cinco poblaciones de *Artemia franciscana* (Anostraca: Artemiidae). Rev. Biol. Trop. 41: 103-110.
- Gallardo, C. & J. Castro. 1987. Reproduction and genetics of mexican *Artemia*. p. 249-253. In: P. Sorgeloos; D. Bengtson; W. Decler y E. Jaspers. (Eds.) *Artemia* research and its applications. Vol. 1. Morphology, Genetics, Strain characterization. Universa Press. Wetteren, Bélgica. 359 p.

- Dana, G. L., R.Jellison., J.M. Melack & G. L. Starrett. 1993. Relationships between *Artemia monica* life history characteristics and salinity. *Hydrobiologia* 263: 129-143.
- Forbes, M.R.L., H.Pagola & R.L.Baker. 1992. Causes of a non-random pairing by size in the brine shrimp, *Artemia salina*: (Crustacea:Anostraca). *Oecologia* 91:214-219.
- Kuruppu, M.M. & S. U. K. Ekaratne. 1995. Effects of temperature and salinity on survival, growth and fecundity of the brine shrimp *Artemia parthenogenetica* from Sri Lanka. *J. Natl. Sci. Council.- Sri Lanka* 23:161-169.
- Lochhead, J.A. & M.S. Lochhead. 1940. The eggshells of the brine shrimp *Artemia*. *Ana. Rec.* 78 (4 Suppl.):75-76
- López, C.J. 1997. Caracterización morfométrica y reproductiva de la población mexicana de *Artemia* sp. presente en la salina "Tres Hermanos", Yavaros, Sonora, México; e hibridación con *Artemia franciscana*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CBS. Distrito Federal. México. 53 p.
- Malpica, S.A., J. Castro, G.L. Rodríguez, T. Castro, C. Gallardo & R. De Lara 1995. Características de la reproducción y del periodo de vida en las hembras de la población de *Artemia* spp. de la salina "Las Coloradas", Oaxaca, en condiciones de laboratorio. *Oceanología* 3: 127-133.
- Nimura, Y., K. Nanba & M. I. Miah. 1994. Food utilization in *Artemia* from growth, reproduction, and maintenance. *Fisheries Science (Tokyo)* 60: 493-503.
- Sorgeloos, P., Lavens, P., Léger, Ph., Tackaert, W. & Versichele, D. (1986). Manual for the culture and use of brine shrimp *Artemia* in aquaculture. State University of Ghent, Bélgica. 319 p.
- Triantaphyllidis, G. V., K. Pouloupoulou., T.J. Abatzopoulos., C.A. Pinto-Pérez & P. Sorgeloos. 1995. Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and parthenogenetic population of *Artemia*. *Hydrobiologia* 302: 215-227.
- Wang, R. & R. Zhang. 1995. Effects of temperature and salinity on the biological character of *Artemia* strains. *Acta Ecol. Sin. Shengtai Xuebao* 15: 214-220.