

Sobrevivencia y características reproductivas de las poblaciones de *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 provenientes de Yucatán, México, cultivadas a diferentes salinidades (40,60, 80, 100 y 120 gL⁻¹).

Survival and reproductive characteristics of *Artemia franciscana* Kellogg 1906 strains from Yucatan, Mexico populations, cultivated at different salinities (40, 60, 80, 100 and 120 gL⁻¹).

Castro-Mejía J, Castro-Mejía G, Ramírez-Orozco DI, de Lara Andrade R, Monroy-Dosta MC and Ramírez-Torrez JA.

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

* Email: camj7509@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

El crustáceo *Artemia* puede sobrevivir en hábitats que presentan grandes cambios en la condición de salinidad (10 gL⁻¹ a 340 gL⁻¹), de salinidad lo que puede modificar sus características reproductivas de las diferentes especies de *Artemia* o diferentes poblaciones. Es por eso que este estudio se realiza con cuatro poblaciones de la península de Yucatán (CAN, CEL, RSAL y CRIS), tomando 0.5 g de quistes de cada población y así los nauplios eclosionados de ellos se colocaron en recipientes de plástico de 200 L, con 160 L de agua de mar (40, 60, 80, 100 y 120 gL⁻¹). Los organismos fueron alimentados con las microalgas *Tetraselmis* sp. y *Pinnularia* sp. hasta que los organismos alcanzaran el estadio pre adulto. Quince parejas (una hembra/2 machos) fueron emparentadas para determinar sus características reproductivas. En todos los casos (supervivencia, número de puestas, intervalo entre puestas, periodo pre, reproductivo y postreproductivo, quistes por hembra y nauplios por hembra) los datos fueron mejores a la salinidad de 80 gL⁻¹. Estos resultados proveen de información valiosa para entender los patrones de adaptación que presenta cada una de las poblaciones de *Artemia* y pueda hacerse realidad de obtener mejores cultivos, ya sea a nivel laboratorio o en hábitats naturales para obtener, según sea el caso, quistes o biomasa para los diferentes proyectos de acuicultura o para las investigaciones en las universidades.

Palabras clave: *Artemia franciscana*, características reproductivas, poblaciones de Yucatán, salinidad de cultivo.

ABSTRACT

Artemia can survive in habitats that have a wide salinity range (10 gL⁻¹ to 340 gL⁻¹) conditions, but this can modified the reproductive characteristics of different *Artemia* species or populations. That's why this study with four strains from Yucatan peninsula habitat (CAN, CEL, RSAL and CRIS) was made. 0.5 g of cysts from each strain were hatched and nauplii were cultured in 200 L plastic beakers with 160 L of salt water (40, 60, 80, 100, 120 gL⁻¹). The organisms were fed with *Tetraselmis* sp. and *Pinnularia* sp. microalgae's until the organisms reach pre adult stage. 15 pairs of couples (1 female /2 males) were formed in 200 mL beakers from each population. Every day, the couples were observed to determine reproductive characteristics. In all cases (survival, number of broods, interval between broods, prereproductive period, reproductive period, post reproductive period, cysts per female and nauplii per female) better data were found at salinities upper 80 gL⁻¹. These results provide additional data to understand the adaptation patterns from each *Artemia* population and make the possibility to have better culture systems either

in natural habitats or laboratory conditions to obtain cyst or biomass to aquaculture projects or university researches.

Key words: *Artemia franciscana*, reproductive characteristics, Yucatan peninsula strains, salinity culture.

INTRODUCCIÓN

El género *Artemia* comprende un complejo grupo de especies emparentadas, así como super especies definidas bajo el criterio del aislamiento reproductivo (Browne y Bowen 1991). Existe un grupo conocido como “especies del Nuevo Mundo” 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 de especies conocidas como “del Mundo Viejo” representadas por: *Artemia salina* (Linnaeus 1758) (Mediterráneos), *Artemia urmiana* Günther 1899 (Lago Urmia, Irán), *Artemia sinica* Cai 1989; y la subespecie *Artemia sinica sinica* Cai 1989 (China); *Artemia tibetiana* Abatzopoulos et al. 1998; y la subespecie *Artemia sinica tibetiana* (Meseta Superior del Tibet), *Artemia* sp. Leach 1819 y poblaciones partenogenéticas de *Artemia* Abatzopoulos et al. 2002.

Este pequeño camarón de salmuera se encuentra ampliamente distribuido en cuerpos de agua tanto de aguas interiores como cuerpos costeros hipersalinos (Triantaphyllidis et al. 1998, Castro et al. 2000, Van Stappen 2002, El-Bermawi et al. 2004). *Artemia* puede habitar aguas con cloruros, sulfatos, o carbonatos disueltos en el agua, así como la combinación de dos o más iones (Bowen et al. 1985, Lenz et al. 1987). *Artemia* es uno de los pocos organismos que pueden adaptarse a sobrevivir en muy diversas condiciones, incluyendo la salinidad, la cual puede estar tan baja como una concentración de 10 gL^{-1} (Abatzopoulos et al. 2006a; Abatzopoulos et al. 2006b) o tan alta como 340 gL^{-1} de salinidad (Post y Youssef 1977).

Existe poca información sobre la supervivencia y las características reproductivas de algunas poblaciones de *Artemia* sean bisexuales y partenogenéticas (Vanhaecke et al. 1984; Wear y

Haslett 1986; Browne et al. 1984; Browne y Bowen 1991; Browne y Wanigasekera 2000; Triantaphyllidis et al. 1995; 1997a,b Baxevanis et al. 2004; El-Bermawi et al. 2004; Abatzopoulos et al. 2003, 2006b; Agh et al. 2008) los cuales la han cultivado a diferentes concentraciones de sal. En México, existen pocos estudios con respecto a este tóxico (Castro et al. 2009; Castro et al. 2010; Castro et al. 2011; Castro et al. 2013).

Es por eso, que el principal objetivo de esta investigación fue el determinar el efecto que tiene la salinidad sobre la supervivencia y las características reproductivas de cuatro poblaciones de *Artemia* provenientes de la Península de Yucatán, cultivadas bajo condiciones de laboratorio y así incrementar la información (datos), que permitan entender los patrones de adaptación y la posibilidad de tener cultivos masivos de este crustáceo, tanto de biomasa, así como de quistes, tanto en los medios naturales, así como los distintos trabajos a nivel universidad en proyectos de acuicultura.

MATERIAL Y MÉTODOS

Poblaciones estudiadas en el experimento

Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Producción de Alimento Vivo de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México. Se utilizaron quistes de cuatro poblaciones de *Artemia franciscana* (Tabla 1, Fig.1) de hábitats de la zona costera de la Península de Yucatán, almacenados en un refrigerador a -10°C para mantener el proceso de deshidratación: 0.5 g de quistes de cada población fueron puestos a eclosionar a 40 gL^{-1} de salinidad, pH 8-10; $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e iluminación y aeración constantes (Castro et al. 2003).

Sistema de cultivo

Los nauplios eclosionados fueron sifoneados y transferidos en recipientes de plástico de 200 L con 160 L de agua salada a diferentes concentraciones (40, 60, 80, 100 and 120 gL^{-1}). La densidad de nauplios de *Artemia* fue ajustada a 1 org 100 mL^{-1} . Los organismos fueron alimentados *ad libitum* con

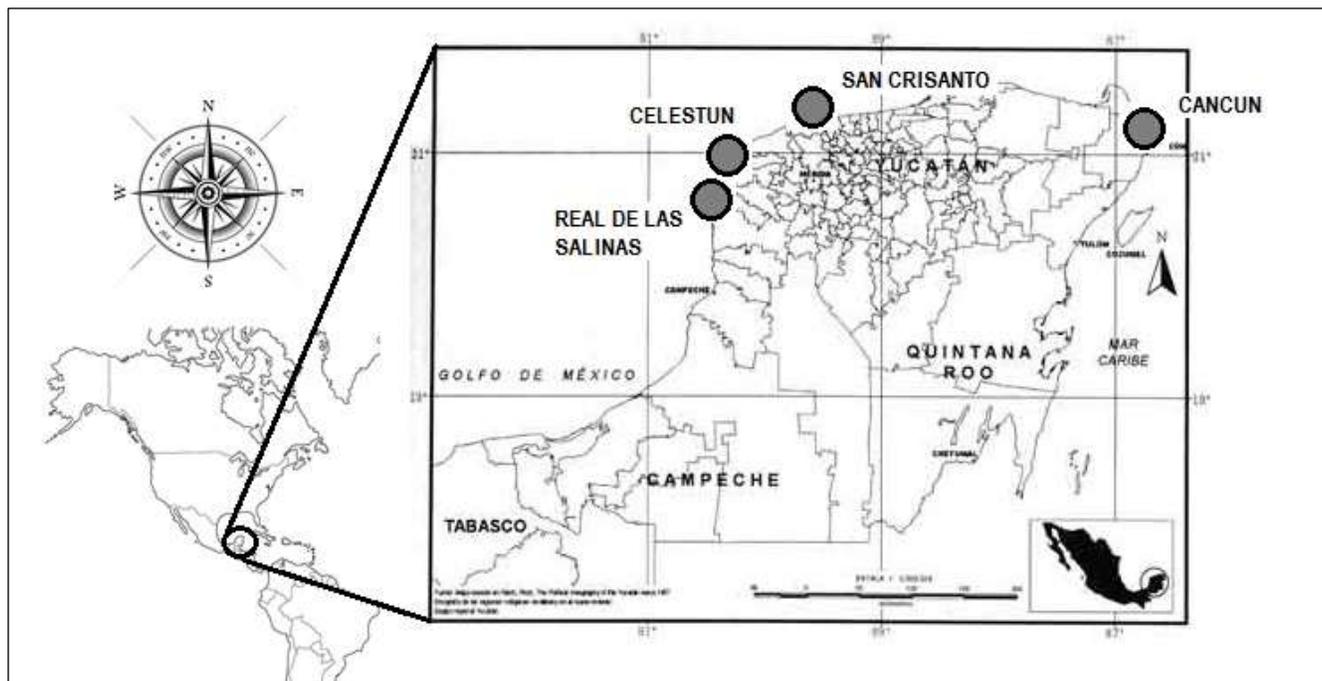


Fig. 1. Ubicación geográfica de las poblaciones de *Artemia franciscana* provenientes de la Costa de la Península de Yucatán.

Tabla 1. Lista de las poblaciones de *Artemia* de la Península de Yucatán estudiadas, su abreviación y Coordenadas geográficas.

Sitio	Estado de la República	Abreviación empleada	Coordenadas geográficas
Cancún	Quintana Roo	CAN	21°10' N; 86°47' W
San Crisanto	Yucatán	CRIS	21° 21' N; 89° 07' W
Celestún	Yucatán	CEL	20° 52' N; 90° 23' W
Real de las Salinas	Campeche	RSAL	20°02' N; 90°14' W

50 mL de salvado de arroz (300 g 4L⁻¹ en agua salada a 90 gL⁻¹), y 2 L de *Tetraselmis suecica* y 2 L de *Pinnularia sp.* (ambas a una concentración de 500,000 cel mL⁻¹).

Características reproductivas

Antes de ver apareamientos en las poblaciones, machos y hembras fueron separados en recipientes

de 4L hasta a que alcanzaran la madurez sexual y así poder formar 15 parejas (1 hembra y 2 machos) bisexuales de *Artemia franciscana* de cada una de las poblaciones en frascos de 200 mL a cada una de las salinidades estudiadas en sus características reproductivas. Los machos muertos fueron remplazados inmediatamente con machos con natación activa durante todo el experimento según lo señalado por Agh et al. (2008). Los contenedores

fueron chequeados de forma diaria para observar la presencia de nauplios y/o quistes, los cuales fueron contados por separado para determinar diferencias significativas entre las poblaciones y salinidades ($P < 0.05$). Asimismo, las características reproductivas y ciclo de vida fueron determinadas para cada una de las poblaciones de la Península de Yucatán (número de puestas por hembra, intervalo entre puestas, total de nauplios y quistes producidos por hembra, periodos pre reproductivo, reproductivo y post reproductivo) de acuerdo a Browne et al. (1984) y Agh et al. (2008).

Supervivencia

La supervivencia de las poblaciones fue determinada al final del experimento de cultivo. Los resultados (expresados en porcentaje) fueron transformados con la fórmula:

$$\sqrt{\left(\frac{X\%}{100}\right) + 0.5}$$

Análisis estadístico

La base de datos fue creada con la ayuda del software de Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., Washington, EUA). Un análisis de Tallo y Hoja, así como de Box Plot fue realizado para asegurar la normalidad de la información. Una prueba de estadística descriptiva fue realizada con los valores para obtener los promedio y su desviación estándar para todas las variables reproductivas realizadas. Los datos de las características reproductivas fueron transformados con la fórmula:

$$\sqrt{X + 0.5}$$

Se empleó el análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías para determinar diferencias significativas entre las poblaciones y salinidades (Tatsuoka 1970; Kachigan 1991). La comparación de medias Múltiples por la técnica de Tukey ($P < 0.05$), fue utilizada para todos los caracteres estudiados. La clasificación utilizada se basó en la agrupación de poblaciones de acuerdo a su salinidad específica de su medio de cultivo (Sokal y Rohlf, 1981; Kachigan

1991). El programa SYSTAT 13 (Systat Software Inc., California EUA) fue utilizado para realizar todos los análisis estadísticos.

RESULTADOS

Supervivencia

Los organismos de todas las poblaciones, que fueron cultivados a 40 gL^{-1} de salinidad, murieron después del día séptimo de cultivo, además, ninguna de ellas alcanzó el estadio juvenil a esa salinidad. Información obtenida después de 21 días de cultivo indican que la supervivencia se incrementa con el incremento de la salinidad. Los intervalos de supervivencia alcanzados fueron: 48-51% a 60 gL^{-1} ; 61-62% a 80 gL^{-1} ; 76-78% a 100 gL^{-1} y 84-85% a 120 gL^{-1} de salinidad. Los valores de supervivencia se muestran en la Tabla 2.

Las poblaciones no mostraron diferencias significativas cuando se pusieron en la misma salinidad de cultivo. La prueba de ANDEVA de dos vías no mostró diferencias significativas en las pruebas de relación población/salinidad de cultivo ya que solamente provee del 0.012% y 0.199% de la significancia, respectivamente. La variable salinidad de cultivo entre las fue la que mostró las diferencias significativas, ya que provee el 99.78% de la significancia.

Número de puestas por hembra

Los valores promedio se muestran en la Tabla 3. Su número se incrementa con la salinidad. A 60 gL^{-1} se obtuvieron seis puestas; a 80 gL^{-1} de salinidad el intervalo fue de 7-9; a 100 gL^{-1} de salinidad de cultivo fue entre 9-10; y para 120 gL^{-1} se incrementa hasta 11-12 puestas. El análisis de dos vías del ANDEVA señala que la salinidad de cultivo es la variable que muestra las diferencias significativas entre las poblaciones con el 96% de la significancia.

Intervalo entre las puestas

Los valores promedio se muestran en la Tabla 4. El intervalo encontrado en todas las salinidades de cultivo fue entre 2-3 días. El valor de

esta variable no tuvo cambios ni en la población, ni la salinidad de cultivo, así como la interacción entre ambos.

Nauplios producidos por hembra

Los valores promedio se presentan en la Tabla

5. Los nauplios producidos por hembra en cada una

de las salinidades probadas fue de: a 60 gL⁻¹ 41-46 nauplios/hembra; a 80 gL⁻¹ de 44-48 nauplios/hembra; a 100 gL⁻¹ de 49-52 nauplios/hembra y para 120 gL⁻¹ de salinidad de cultivo fue de 53-57 nauplios/hembra. El análisis de

Tabla 2. Valores promedio (\pm D.S.) de la supervivencia de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancun	51.13 ^a ± 6.07	61.70 ^b ± 4.91	78.97 ^c ± 4.71	84.17 ^d ± 2.88
San Crisanto	48.70 ^a ± 5.82	62.97 ^b ± 3.76	77.37 ^c ± 4.96	85.27 ^d ± 3.28
Celestún	49.03 ^a ± 5.56	62.97 ^b ± 4.65	77.67 ^c ± 4.38	84.97 ^d ± 3.26
Real de las Salinas	50.53 ^a ± 5.73	62.77 ^b ± 4.94	76.87 ^c ± 5.18	85.10 ^d ± 3.20

Misma letra en columnas no indican diferencias significativas (P<0.05).
Letras diferentes en fil, indican diferencias significativas entre ellas (P<0.05).

Tabla 3. Valor promedio (\pm D.S.) del número de puestas por hembra de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancun	6.74 ^{a,c,d} ± 1.39	8.30 ^{a,b,d} ± 1.15	9.44 ^c ± 0.88	11.28 ^{c,d} ± 1.21
San Crisanto	6.63 ^{b,c,d,f,g,h,i,k,l} ± 0.75	9.11 ^{a,d,e,h,i,j,l} ± 1.49	9.82 ^{a,b,e,k} ± 1.34	11.34 ^{a,b,c,e,f,l} ± 2.10
Celestun	6.56 ^{b,c,d,e,g,h} ± 0.89	8.76 ^{a,d,e,f,h} ± 1.55	10.01 ^{a,b,g} ± 2.03	10.86 ^{a,b,h} ± 1.86
Real de las Salinas	6.43 ^{b,c,d,f,g,h,j,k,l,m,n,o} ± 1.63	7.84 ^{c,d,g,h,k,l,m,n,o} ± 2.45	9.51 ^{a,e,i,n} ± 1.76	12.20 ^{a,b,c,d,e,f,g,i,j,k,l,n,o} ± 2.61

Misma letra en fila y columna muestran diferencias significativas entre las distintas poblaciones (P<0.05).

Tabla 4. Valores promedio (\pm D.S.) del intervalo entre puestas de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	2.36 ± 0.95	2.33 ± 1.04	2.23 ± 0.87	2.36 ± 0.83
San Crisanto	2.34 ± 0.71	2.75 ± 0.69	2.53 ± 0.80	2.37 ± 0.70
Celestún	2.44 ± 0.87	2.44 ± 0.72	2.54 ± 0.83	2.48 ± 0.16
Real de las Salinas	2.65 ± 0.70	2.54 ± 0.69	2.12 ± 0.74	2.48 ± 0.78

dos vías de ANDEVA mostró que existen diferencias significativas tanto en las poblaciones utilizadas, la salinidad de cultivo, así como la interacción entre estas dos variables. La contribución en la significancia de cada una de ellas fue de 11.12% para la población; 32.52% para la salinidad y 56.34% para la combinación de estas variables.

Quiestes producidos por hembra

Los valores promedio se muestran en la Tabla 6. En las salinidades de cultivo de 60 y 80 gL⁻¹ no se observó producción de quiestes. Todas las poblaciones comenzaron a producirlos en la salinidad de cultivo de 100 gL⁻¹ con 53-60 quiestes por hembra y a la salinidad de 120 gL⁻¹ entre 52-60

Tabla 5. Valores promedio (\pm D.S.) de los nauplios producidos por hembra de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	45.86 ^{a,d} \pm 10.86	45.98 ^{b,d} \pm 9.84	52.73 ^c \pm 4.90	57.76 ^d \pm 10.23
San Crisanto	43.07 ^{c,d,h,i,k,l} \pm 4.79	46.10 ^{d,h} \pm 7.75	52.97 ^{e,j,k} \pm 7.60	53.02 ^{e,l} \pm 7.35
Celestún	41.61 ^{c,d,e,g,h} \pm 9.71	48.93 ^{d,f,h} \pm 11.92	50.57 ^g \pm 7.08	57.41 ^{a,b,h} \pm 9.25
Real de las Salinas	43.20 ^{c,d,g,h,k,l,m} \pm 10.63	44.38 ^{c,d,h,k,l,m} \pm 9.86	49.55 ^e \pm 8.19	56.94 ^{a,b,e,f,i,j,m} \pm 7.36

Misma letra en fila y en columna, muestran diferencias significativas entre las poblaciones P<0.05).

Tabla 6. Valores promedio (\pm D.S.) de los quiestes producidos por hembra de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	s.v.	s.v.	60.03 ^a \pm 5.59	54.71 ^b \pm 3.51
San Crisanto	s.v.	s.v.	57.46 ^{a,b,c,e} \pm 7.71	54.02 ^{b,d,e,f} \pm 5.77
Celestún	s.v.	s.v.	57.90 ^{a,b,c} \pm 6.17	52.80 ^{b,d} \pm 5.58
Real de las Salinas	s.v.	s.v.	53.44 ^{b,d,f} \pm 6.94	60.02 ^{a,c,e} \pm 5.55

Misma letra en fila y en columna no muestran diferencias significativas entre las poblaciones (P<0.05).).
s.v. = sin valor.

Tabla 7. Valores promedio (\pm D.S.) de la duración, en días, del periodo pre-reproductivo de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	11.23 ^{a,c,d} \pm 2.31	13.06 ^b \pm 2.23	13.79 ^c \pm 2.73	14.82 ^d \pm 1.69
San Crisanto	10.28 ^{b,c,d,f,g,h,k,l} \pm 2.59	12.22 ^{d,h,l} \pm 3.08	12.78 ^{i,k} \pm 1.96	15.24 ^{a,e,f,j,k,l} \pm 1.64
Celestún	10.39 ^{b,c,d,e,g,h} \pm 3.46	12.60 ^{d,e} \pm 2.45	13.41 ^{a,e,f} \pm 1.95	14.57 ^{a,g,h} \pm 1.24
Real de las Salinas	11.63 ^{c,d,h,l,m}	11.97 ^{d,h,l,m}	13.45 ^{a,e,i}	14.65 ^{a,e,i,j,m}

quistes por hembra. El análisis de dos vías de ANDEVA no mostró diferencias significativas ni por la población de origen, así como la interacción entre estas dos variables. La variable salinidad contribuye con el 99.87% de la significancia.

Periodo pre-reproductivo

Los valores promedio se presentan en la Tabla 7. Los intervalos a las diferentes salinidades fueron: a 60 gL⁻¹ de salinidad 10-11 días; 11-13 días a 80 gL⁻¹; 12-13 días a 100 gL⁻¹ y a 120 gL⁻¹ 14-15 días. El análisis de dos vías del ANDEVA señaló que existe diferencias entre los tres factores considerados (población, salinidad de cultivo e interacción entre ambos). El porcentaje de la significancia fue 11.03% para la población; 69.15% para la salinidad y 19.80% para la interacción de las dos variables.

Periodo reproductivo.

Los valores promedio se presentan en la Tabla 8. El intervalo de duración (días) a las diferentes salinidades fueron: 31-34 días a la salinidad de 60 gL⁻¹; 32-37 días a 80 gL⁻¹; 39-40 días a 100 gL⁻¹ y de 42-45 días a 120 gL⁻¹ de salinidad. El análisis de dos vías no mostró diferencias significativas por población, pero si por la salinidad y la interacción entre estas dos variables. El porcentaje de la significancia con que cada una contribuye fue para la salinidad de 92.28% y la interacción de tan solo 7.50%.

Periodo post-reproductivo

Los valores promedio se presentan en la Tabla 9. Los intervalos de duración en la salinidad de cultivo fueron: 5-6 días a 60 gL⁻¹ de salinidad; 6-7 días para 80 gL⁻¹; 7-8 días para 100 gL⁻¹ y de 9 días

Tabla 8. Valores promedio (\pm D.S.) de la duración de días del periodo reproductivo de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	11.23 ^{a,d} ±2.31	13.06 ^b ±2.23	13.79 ^c ±2.73	14.82 ^d ±1.69
San Crisanto	10.28 ^{b,c,d,g,h,i} ±2.59	12.22 ^{d,h,j} ±3.08	12.78 ^{a,e,f} ±1.96	15.24 ^{a,b,e,f} ±1.64
Celestún	10.39 ^{c,d,g,h} ±3.46	12.60 ^{c,d,f,g,h} ±2.45	13.41 ^{a,e,g} ±1.95	14.57 ^{a,b,c,h} ±1.24
Real de las Salinas	11.63 ^{c,d,g,h,k,l} ±2.46	11.97 ^{h,i,l} ±2.40	13.45 ^{e,f,h,i,k} ±2.17	14.65 ^{a,b,e,f,i,j,l} ±1.98

Misma letra en fila y columna señalan diferencias significativas entre las poblaciones (P<0.05).

Tabla 9. Valores promedio (\pm D.S.) de la duración de días del periodo post-reproductivo de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán.

Poblaciones	Salinidad de cultivo (gL ⁻¹)			
	60	80	100	120
Cancún	5.28 ^{a,c,d} ±0.84	6.82 ^{a,b,d} ±1.28	7.77 ^c ±1.37	9.28 ^d ±1.24
San Crisanto	5.77 ^{c,d,f,g,h,i,j,k} ±1.43	6.77 ^{a,d,g,h,j} ±1.47	8.25 ^{a,e,i} ±1.82	9.30 ^{a,b,e,f,j} ±1.60
Celestún	5.44 ^{c,d,e,g,h} ±1.76	7.31 ^{a,d,e,f,h} ±1.88	8.75 ^{a,g} ±2.67	9.59 ^{a,b,c,h} ±2.52
Real de las Salinas	6.21 ^{c,d,g,h,i,j,l,m} ±1.34	7.44 ^{a,d,e,h,j,k,m} ±1.63	8.03 ^{a,e,k,l} ±2.36	9.54 ^{a,b,c,e,f,k,m} ±2.01

Misma letra en fila y columna muestran diferencias significativas entre las poblaciones (P<0.5).

para 120 gL^{-1} de salinidad. El análisis de dos vías de ANDEVA mostró que no existían diferencias significativas entre las poblaciones y la interacción con la salinidad, pero con respecto a la variable salinidad de cultivo si existían diferencias significativas entre las poblaciones. El porcentaje que presentó el factor salinidad de cultivo fue de 95.70%.

DISCUSION

Supervivencia

La capacidad de osmorregulación que tiene el crustáceo *Artemia* en hábitats con diferentes concentraciones de sal, le permite sobrevivir, crecer y reproducirse bajo estas condiciones, al igual que algunas microalgas, bacterias y algunos estadios de insectos, los cuales responden adecuadamente al stress provocado por los iones disueltos en el agua y la presión osmótica de los fluidos internos de estos organismos. Los nauplios de *Artemia* presentan una estructura la cual es responsable de llevar a cabo este proceso de osmorregulación llamada la glándula de sal del cuello y que en el estadio adulto es realizado principalmente por el epitelio intestinal (Croghan 1958b; Plattner 1955) y los meta-epipoditos en los segmentos branquiales (Copeland 1966; Croghan 1958a). Estas estructuras le permiten a *Artemia* la posibilidad de sobrevivir, crecer y reproducirse en salinidades $<35 \text{ gL}^{-1}$ hasta $>210 \text{ gL}^{-1}$ (Copeland 1967).

La respuesta de las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán cultivadas a diferentes salinidades, no permite que ha salinidades por debajo de 60 gL^{-1} y por arriba de 120 gL^{-1} , los organismos mueren en el estadio metanaupliar debido a que el mecanismo de osmorregulación se ve alterado cuando los organismos son colocados de forma directa a esa concentración de salinidad, mientras que este es funcional en el intervalo de $60\text{-}120 \text{ gL}^{-1}$ de salinidad, por lo que es probable que las grandes diferencias encontradas no es debido al origen del hábitat de este crustáceo, sino que está determinado a la concentración de sal que halla en el medio. En contraste a esto Sayg (2004) sugiere que las diferencias pueden ser consideradas como respuestas a los biotopos locales y no solamente a

las respuestas intrapoblacionales a la salinidad, como los niveles de ploidía y el contenido energético de la larva naupliar. Otros autores como Chapman (1968); Metalli y Ballardín (1972); Vanhaecke y Sorgeloos (1989), indican que la variabilidad genética puede inducir a un amortiguamiento poblacional con respecto a las condiciones como lo es la salinidad. Vanhaecke et al. (1984) también encontraron supervivencia de *Artemia* en salinidades por debajo de los 35 gL^{-1} y por arriba de 90 gL^{-1} de salinidad. Post y Youssef (1977) indicaron que cultivar *Artemia* en salinidades por debajo de los 45 gL^{-1} decrece la supervivencia. Hammer y Hurlbert (1992) observaron que estadios juveniles de diferentes poblaciones o especies de *Artemia*, crecen lentamente y los adultos mueren por debajo de 38 gL^{-1} de salinidad. Sin embargo, El-Bermawi et al. (2004) encontraron que algunas poblaciones de Egipto presentaron supervivencias del 60% en salinidades de 35 gL^{-1} .

Comparando los datos con otras especies del género *Artemia* como *A. salina*, *A. sinica*, *A. persimilis* y algunas poblaciones partenogenéticas (Browne y Wanigasekera (2000) señalan un intervalo de 0-24% de supervivencia en pruebas de cultivo a 60 gL^{-1} de salinidad. Van Stappen et al. (2003) que estudio *A. tibetiana* encontró 39% de supervivencia en cultivos a 35 gL^{-1} de salinidad. Sayg (2004), quien estudio poblaciones de *Artemia* partenogenéticas de Turquía y Grecia, encontró supervivencias del 15% en cultivos por debajo de los 80 gL^{-1} ; Agh et al. (2008) y Abatzopoulos et al. (2006a,b) obtuvieron 0% de supervivencia en la especie *A. urmiana* a 50 gL^{-1} de salinidad. Con respecto a las especies del Continente Americano, Medina et al. (2007), encontraron en *A. persimilis* tasas de supervivencia de tan solo el 5.3% a 30 gL^{-1} de salinidad. Para todos estos estudios, el intervalo de la salinidad de $80\text{-}120 \text{ gL}^{-1}$ fue considerada como la más apropiada para inocular a los nauplios recién eclosionados, excepto en la especie *A. tibetiana*.

Estos cambios pueden ser diferentes entre las especies de *Artemia* o poblaciones de la misma especie, pero que se encuentran separadas por barreras geográficas o químicas (Cole y Browne 1967).

Con respecto a la inoculación del estadio naupliar en las poblaciones mexicanas, en

salinidades por arriba de 120 gL^{-1} de salinidad de cultivo, las poblaciones de la Península de Yucatán presentaron un 100% de mortalidad, debido a que este estadio no pudo activar las enzimas propias para que el mecanismo osmorregulador funcione apropiadamente (Clegg y Trotman 2002). Otros trabajos como el de Dana y Lenz (1986), muestran que si la salinidad se encuentra por arriba de los 179 gL^{-1} la supervivencia decrece por debajo del 20% y el aparato osmorregulador es dañado no solamente por la concentración de iones en el medio sino también por la frecuencia y la duración en que los organismos se encuentran a esa salinidad. La especie *A. salina* cultivada en intervalo de $150\text{-}200 \text{ gL}^{-1}$ de salinidad mostró un 100% de mortalidad; con respecto a la especie *A. urmiana*, el 100% de mortalidad se observa cuando los anuplios son inoculados en cultivos con salinidades de 200 gL^{-1} (Agh et al. 2008; Abatzopoulos et al. 2006b).

En resumen, la concentración de salinidad $<60 \text{ gL}^{-1}$ y $>120 \text{ gL}^{-1}$, afectan la supervivencia de las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán, así como otras especies de *Artemia* cultivadas bajo las mismas condiciones de laboratorio: *A. urmiana*, *A. persimilis*, *A. tibetiana*. Es posible mantener cultivos de este crustáceo, si la salinidad se incrementa de forma gradual (10 gL^{-1} cada semana) para permitir a la actividad enzimáticas se establezca en el mecanismo osmorregulador de estos organismos (Post y Youssef 1977; Wear et al. 1986; Triantaphyllidis et al. 1995; Van Stappen 2002; Agh et al. 2008) como sucede en la naturaleza. Tackaert y Sorgeloos (1991), menciona que el factor impreso en los genes de este crustáceo a la respuesta a la salinidad, se encuentra en cada una de las especies y/o poblaciones de *Artemia*, y es funcional de manera óptima en el intervalo de $100\text{-}180 \text{ gL}^{-1}$ de concentración de salinidad en el medio de cultivo, sea natural o de laboratorio. Esto puede observarse claramente en las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán, las cuales muestran un 80% de la significancia de la variabilidad de la información obtenida. La obtención de esta información permite hacer un mejor manejo del cultivo de las poblaciones bajo condiciones de laboratorio cuando las variables salinidad, temperatura y alimento, se conocen y se mantienen de forma constante (Wear y Haslett 1987).

Características reproductivas

Las variables de las características reproductivas de las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán se ven influenciadas principalmente por el factor salinidad y solamente la producción de nauplios por hembra por la interacción de ambos factores. Browne (1982) y Browne et al. (1984), mencionan que el tipo de alimento y su concentración en el medio de cultivo, pueden modificar la respuesta reproductiva de las poblaciones de *Artemia*, por lo que en este estudio estas dos variables se mantuvieron constantes.

En todos los casos de las poblaciones de *A. franciscana* de la Península de Yucatán muestran que los valores se incrementan cuando la concentración de sal en el medio aumenta. La forma de reproducción ovípara, se observó a partir de la salinidad de 100 a 120 gL^{-1} , aunque también se observe producción de nauplios, la cual se incrementa en una cantidad de 12 nauplios más por hembra. El intervalo entre puestas no cambio con la modificación de la salinidad. El periodo pre-reproductivo incrementa cuatro días con el incremento de la salinidad; 10 días para el periodo reproductivo y de cuatro días para el post-reproductivo. El incremento en el número de días en el periodo reproductivo permite un incremento en el número de puestas por hembra en todas las poblaciones estudiadas. Autores como Bowen et al. (1988) y Browne y Wanigasekera (2000), mencionan que la salinidad óptima de cultivo es en la cual la duración del periodo reproductivo tiene una mayor duración.

Con respecto al número de puestas por hembra, las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán presentan la misma variación (6-12 puestas). Autores como Browne et al. (1984) mencionan que obtuvieron de 4-14 puestas por hembra en cultivos a 90 gL^{-1} de salinidad. Amat et al. (2004), reportan seis puestas por hembra entre $70\text{-}80 \text{ gL}^{-1}$ de salinidad. Resultados diferentes se observan en el trabajo de Baxevanis et al. (2004), quienes reportan solamente dos puestas por hembra a 120 gL^{-1} de salinidad. Estudios realizados con otras especies de *Artemia* muestran intervalos de 4-7 puestas por hembra a 90 gL^{-1} de salinidad con *A. tunisiana* (Browne et al. (1984); con respecto a

urmiana, Agh et al. (2008), encontraron seis puestas por hembra a 50 gL^{-1} de salinidad y solamente una puesta por hembra a 150 gL^{-1} . Para poblaciones partenogénicas de *Artemia*, Browne et al. (1984) mencionan 8-19 puestas por hembra en cultivos a 90 gL^{-1} de salinidad.

En lo que se refiere al intervalo entre puestas por hembra, las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán, no modifican la cantidad de días (2 días) a diferencia de otros trabajos como el de Baxevanis et al. (2004), quienes reportaron un intervalo de cuatro días a 120 gL^{-1} de salinidad. Con otras especies de *Artemia*, los valores cambian de 4-5 días entre $75\text{-}175 \text{ gL}^{-1}$ de salinidad con la especie de *A. urmiana* (Agh et al. 2008); las poblaciones partenogénicas de *Artemia* presentan siete días a 120 gL^{-1} de salinidad; tanto Abatzopoulos et al. (2003) y Baxevanis et al. (2004), obtuvieron tan solo dos días entre las puestas para las mismas poblaciones, pero observaron un incremento a cinco días cuando se cultiva a 200 gL^{-1} de salinidad Triantaphyllidis et al. (1995); Van Stappen (2002) y Van Stappen et al. (2003) mencionan que la variabilidad en la información de las distintas características reproductivas es la respuesta al aumento o decrecimiento de la concentración de sal en el medio de cultivo, de cada una de las especies y/o poblaciones de *Artemia*. Browne et al. (1984), mencionan que las poblaciones de *Artemia* que no tienen una duración mayor del intervalo entre las puestas permiten que la hembra se recupere del evento reproductivo, ya sean producción de nauplios o quistes.

En lo que se refiere a la producción de nauplios por hembra, las poblaciones mexicanas de la Península de Yucatán presentan una gran variabilidad como la que se encuentra en otros autores también como Browne et al. (1984) y Baxevanis et al. (2004) con la especie *A. franciscana*; Abatzopoulos et al. (2003) con poblaciones partenogénicas de *Artemia*; y Agh et al. (2008) con la especie *A. urmiana*.

Para la producción de quistes por hembra, Barata et al. (1996) mencionan que este tipo de reproducción se presenta cuando los niveles de salinidad son muy altos y se mantienen durante largos periodos de tiempo. Baxevanis et al. (2004), encontraron la misma condición en sus

experimentos con la especie *A. franciscana*; Abatzopoulos et al. (2003) y Arashkevich et al. (2009) con respecto a poblaciones partenogénicas de *Artemia* y Agh et al. (2008) con la especie *A. urmiana*. Este proceso de enquistamiento no solamente responde a la concentración de sal existente en el medio, así como la duración del periodo en que los organismos son mantenidos a esa concentración, sino también a la composición iónica de la sal (Jennings y Whitaker 1941); Jacobi y Baas-Becking (1933) probaron que el proceso de enquistamiento no se presenta si la salinidad no se encuentra por arriba de los 80 gL^{-1} de salinidad, pero además si las especies o poblaciones de *Artemia* se encuentran con el ion específico en la composición de la sal del medio de cultivo y que parece ser específico para cada una.

En resumen, el conocimiento de estas características reproductivas permite realizar un mejor manejo en el cultivo de este crustáceo *Artemia*, ya sea en los cultivos en medio natural o en el laboratorio para obtener ya sea biomasa en nauplios o producción de quistes, según sea la necesidad de la industria de la acuicultura.

BIBLIOGRAFÍA

- Abatzopoulos TJ, AD Baxevanis, GV Triantaphyllidis, G Criel, EL Pador, G Van Stappen y P Sorgeloos. 2006b. Quality evaluation of *Artemia urmiana* Günther (Urmia Lake, Iran) with especial emphasis on its particular cyst characteristics. International Study on *Artemia*, LXIX. Aquaculture 254: 442-454.
- Abatzopoulos TJ, I Kappas, P Bossier, P Sorgeloos y JA Beardmor. 2002b. Genetic characterization of *Artemia tibetiana* (Crustacea: Anostraca). Biological Journal of the Linnean Society 75: 333-344.
- Abatzopoulos TJ, Agh N, Van Stappen G, Razavi-Rouhani SM y Sorgeloos P. 2006a. *Artemia* sites in Iran. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 86(2): 229-307.
- Abatzopoulos TJ, N El-Bermawi, C Vasdekis, AD Baxevanis and P Sorgeloos. (2003) Effects of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia*. Hydrobiologia 492: 191-199.
- Agh N, Van G Stappen, P Bossier, H Sepehri, V Lofti, SMR 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(2): 164-172
- Amat F, GR Cohen, F Hontoria y JC Navarro. 2004. Further evidence and characterization of *Artemia franciscana* (Kellogg 1906) populations in Argentina, *Journal of Biogeography* 31: 1735-1749.
- EG Arashkevich, PV Sapozhnikov, KA Soloviov, TV Kudyshev y PP Zavaliov. 2009. *Artemia partenogenetica* (Branchiopoda: Anostraca) from the Large Aral Sea: Abundance, distribution, population structure and cyst production. *Journal of Marine Systems* 76: 359-366.
- Barata C, F Hontoria y F Amat. 1996. Estimation of the biomass production of *Artemia* with regard to its use in aquaculture: Temperature and strains effects. *Aquaculture* 142: 171-189.
- Baxevanis AD, N El-Bermawi, Abatzopoulos TJ y P Sorgeloos. 2004. Salinity effects on maturation, reproductive and life span characteristics of four Egyptian *Artemia* populations (International Study on *Artemia* LXVIII). *Hydrobiologia* 513: 87-100.
- Bowen ST, MR Buoncristiani y JR Carl. 1988. *Artemia* habitats: ion concentrations tolerated by one superspecies. *Hydrobiologia* 158: 201-214.
- 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. *Journal of Crustacean Biology* 5: 106-129.
- Browne RA, SE Sallee, DS Grosch, WO Segreti y SM Purser. 1984. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia*. *Ecology* 65(3): 949-960.
- Browne RA. 1982. The cost of reproduction in brine shrimp. *Ecology* 63: 43-47.
- Browne RA y G Wanigasekera. 2000. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of *Artemia*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 244 (1): 29-44.
- Browne RA y ST Bowen. 1991. Cap. 9. Taxonomy and population genetics of *Artemia*. En: Browne, Sorgeloos and Trotman (eds). *Artemia Biology*, CRC Press, Florida, U.S.A.: 231-235.
- Castro BT, MJ Castro y MG Castro. 2003. *Artemia*. En: Castro (ed). *Alimento vivo para organismos acuáticos*. AGT Editor, S.A. México: 67-81.
- Castro BT, SA Malpica, JM Castro, GM Castro y AR De Lara. 2000. Environmental and biological characteristics of *Artemia* ecosystems in México: and updated review. En: Munawar, Lawrence, Munawar and Malley (eds) *Aquatic Ecosystems of México*. Status and scope. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. : 191-202.
- Castro J. 2011. Efecto de la salinidad en la supervivencia, crecimiento y características reproductivas de trece poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906). Tesis Doctoral, Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autonoma Metropolitana, Mexico, 98.
- Castro J, T Castro, LH Hernandez, JL Arredondo, G Castro y R De Lara. 2010. Effects of salinity on growth and survival in five *Artemia franciscana* (Anostraca: Artemiidae) populations from Mexico Pacific Coast. *Rev. Biol. Trop.* 59(1): 199-206.
- Castro JM, MG Castro, BT Castro, AR De Lara y DMC Monroy. 2013. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Mexico. *Int. J. Artemia Biol.* 3(1): 57-63.
- Castro MJ, BT Castro, FJL Arredondo, HLH Hernandez, MG Castro, AR De Lara y DMC Monroy. 2009. La salinidad y su efecto en la reproducción del crustáceo *Artemia* sp. *ContactoS* 73: 5-15.
- Clegg JS y CNA Trotman. 2002. Physiological and biochemical aspects of *Artemia* ecology. In: Abatzopoulos, Beardmore, Clegg and Sorgeloos (eds) *Artemia: basic and applied biology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 129-170.
- Cole GA y RK Brown. 1967. The chemistry of *Artemia* habitats. *Ecology* 48(5): 858-861.
- Copeland DE. 1967. A study of salt-secreting cells in the brine shrimp (*Artemia salina*). *Protoplasma* 63: 363-384.
- Copeland DE. 1966. Salt transport organelle in *Artemia salina* (brine shrimp). *Science*, 151: 470-471.
- Croghan PC. 1958a. The survival of *Artemia salina* (L.) in various media. *J. exper. Biol.* 35: 213-219.
- Croghan PC. 1958b. The mechanism of osmotic regulation in *Artemia salina* (L.): The physiology of the branchiae. *J. exp. Biol.* 35: 234-242.
- Dana GL y PH Lenz. 1986. Effects of increasing salinity on an *Artemia* population from Mono Lake, California. *Oecologia* 68(3): 428-436.
- 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*. LCVII). *Hydrobiologia* 523:175-188.
- Hammer UT y SH Hurlbert. 1992. Is the absence of *Artemia* determined by the presence of predators or by lower salinity in some saline waters? En:

- Roboarts and Bothwell (eds) *Aquatic Ecosystems in Semi-arid Regions: Implications for Resource Management*. NHRI Symposium series 7 (Environment), Saskatoon, Canada: 91-102.
- Jacobi EF y GM Baas-Becking. 1933. Salt antagonism and effect of concentration in nauplio of *Artemia salina* L. *Journal Gen. Physiol.* 14: 753-763.
- Jennings RH y DM Whitaker. 1941. The effect of salinity upon the rate of excystment of *Artemia*. *Biol. Bulletin* 80(2): 194-201.
- Kachigan SK. 1991. Multivariate statistical analysis. A conceptual introduction. Radius Press, New York, U.S.A.: 283.
- Lenz PH. 1987. Ecological studies on *Artemia*: a review. In: Sorgeloos, Bengtson, Declair and Jaspers (eds) *Artemia Research and its Applications, Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture*. Universa Press, Wetteren, Belgium: 5-18.
- Medina GR, J Goenaga, F Hontoria, G Cohen y F Amat. 2007. Effect of temperature and salinity on prereproductive life span and reproductive traits of two species of *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) from Argentina: *Artemia franciscana* and *A. persimilis*. *Hydrobiologia* 579: 41-53.
- Metalli P y E Ballardine. 1972. Radiobiology of *Artemia*: radiation effects and ploidy. *Curr. Top. Radiat. Res. Q.* 7: 181-240.
- Plattner F. 1955. Der osmotische Druck von *Artemia salina*. *Pflügers Arch. Ges. Physiol.* 261: 172-182.
- Post FJ. y NN Youssef. 1977. A prokaryotick intracellular symbiont of the Great Salt Lake brine shrimp *Artemia salina* (L.). *Canadian Journal of Microbiology* 23: 1232-1236.
- Sayg YB. 2004. Characterization of parthenogenetic *Artemia* populations from Camalti (Izmir, Turkey) and Kalloni (Lesbos, Greece): survival, growth, maturation, biometrics, fatty acid profiles and hatching characteristics. *Hydrobiologia* 527: 227-239.
- Sokal RR. y JF Rohlf. 1981. *Biometry*. Freeman WH. San Francisco, CA, U.S.A.: 859.
- Tackaert W y P Sorgeloos. 1991. Semiintensive culturing in fertilized ponds. In: Browne, Sorgeloos and Trotman (eds). *Artemia Biology*, CRC. Boston, Florida, U.S.A.: 287-312.
- Tatsuoka MM. 1970. Selected topics in advanced statistics. An Elementary Approach. No.6. Discriminant Analysis. Ed. IPAT. Illinois, EUA: 57.
- Triantaphyllidis GV, GRJ Criel, TJ Abatzopoulos y P Sorgeloos. 1997a. International study on *Artemia*. LVII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World strains. I. Bisexual populations. *Hydrobiologia* 357: 139-153.
- Triantaphyllidis GV, GRJ Criel, TJ Abatzopoulos, KM Thomas, J Peleman, JA Beardmore y P Sorgeloos P. 1997b. International study on *Artemia*. LVII. Morphological and molecular characters suggest conspecificity of all bisexual European and North African *Artemia* populations. *Marine Biology* 129:477-487.
- Triantaphyllidis GV, GV Riantaphyllidis, K Pouloupoulou, TJ Abatzopoulos, CA Pinto-Perez. y P Sorgeloos. 1995. International study on *Artemia* 49. Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of *Artemia*. *Hydrobiologia* 302 (3):215-227.
- Triantaphyllidis GV, TJ Abatzopoulos y P Sorgeloos. 1998. Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *Journal of Biogeography*, 25: 213-226.
- Vahaecke P, SE Siddal y P Sorgeloos. 1984. XXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. *International study on Artemia. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 98: 167-183.
- Van Stappen G, L Sui, N Xin y P Sorgeloos. 2003. Characterization of high-altitude *Artemia* populations from the Qinghai-Tibet Plateau, PR China. *Hydrobiologia* 500: 179-192.
- Van Stappen G. (2002) Zoogeography. En: Abatzopoulos, Beardmore, Clegg and Sorgeloos (eds). *Artemia: Basic and Applied Biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands: 171-224.
- Vanhaecke P y P Sorgeloos. 1989. International study on *Artemia* XLVII. The effect of temperature on cyst hatching larval survival and biomass production for different geographical strains of brine shrimp *Artemia* spp. *Ann. Soc. Res. Zool. Bel.* 119:7-23.
- Wear RG y SJ Haslett. 1987. Effects of temperature and salinity on the biology of *Artemia franciscana* Kellogg from Lake Grassmere, New Zealand. 1. Growth and mortality. *J. of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* 98: 153-166.
- 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 (1-2): 153-166.