



**Universidad Autónoma Metropolitana**

*Unidad Iztapalapa*

---

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Maestría en Biología

**Caracterización morfométrica y reproductiva (hibridación) de  
siete poblaciones de *Artemia franciscana* en México, en relación  
a su hábitat y latitud.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

Maestro en Biología

PRESENTA

**JORGE CASTRO MEJIA**

**Directores de Tesis:**

Dra. Thalía Castro Barrera

Dr. José Luis Arredondo Figueroa

**Asesor:**

M. en C. Jesús Sánchez Robles

México, D.F. Mayo del 2004



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-Iztapalapa**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**  
**Coordinación Maestría en Biología**



México, D.F., a 12 de abril del 2004.

**Biól. Jorge Castro Mejía**  
**Alumno de la Maestría en Biología**  
**Presente.**

Le informo que el Comité Académico de la Maestría en Biología, en su sesión del 29 de marzo del 2004, acordó asignarle el siguiente jurado para Examen de Maestría de su tesis titulada "Caracterización morfológica y reproductiva (hibridación) de siete poblaciones de *Artemia franciscana* en México, en relación a su hábitat y latitud"

Firma de aceptación

Dr. Thalia Castro Barrera

Presidente

*Thalia Castro Barrera*

Dr. José Luis Arredondo Figueroa

Secretario

*José Luis Arredondo Figueroa*

M. en C. Jesús Sánchez Robles

Vocal

*Jesús Sánchez Robles*

Dr. S.S.S. Sanja

Vocal

*S.S.S. Sanja*

M. en C. Aida del Rosario Malpica Sanchez

Vocal

*Aida del Rosario Malpica Sanchez*

Es requisito que Ud. reciba las firmas de los integrantes del jurado con el objeto de validar el nombramiento.

A nombre del Comité Académico, le deseo el mayor éxito durante esta etapa de su formación académica, esperando a la brevedad posible contar con la solicitud de fecha para su examen de grado.

Sin otro particular le envío un cordial saludo.

**Dr. Manuel Castillo Rivera**  
**Coordinador Maestría en Biología.**



El jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**JORGE CASTRO MEJIA**

El día jueves 20 de Mayo del año de 2004

*Comité Tutoral*

**Tutor:** DRA. THALIA CASTRO BARRERA  
(Nombre) (Firma)

**Tutor:** DR. JOSE LUIS ARREDONDO  
FIGUEROA  
(Nombre) (Firma)

**Asesor:** M. EN C. JESUS SÁNCHEZ ROBLES  
(Nombre) (Firma)

**Sinodal:** DR. S.S.S. SARMA  
(Nombre) (Firma)

**Sinodal:** M. EN C. AIDA DEL ROSARIO  
MALPICA SÁNCHEZ  
(Nombre) (Firma)

“La maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACYT”

La parte experimental de esta maestría se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Area: Estrategias Biológicas para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales Acuáticos. Laboratorio: Producción de Alimento Vivo. Así como del apoyo recibido por el Programa FOMES 2000 de la SEP; así como del Proyecto: *Artemia* Biodiversity de la Comunidad Europea.

A mis tutores (Dra. Thalía; Dr. José Luis) y a mi asesor en la parte estadística (M. en C. Jesús) por su valiosa aportación, tiempo y dedicación para la elaboración de este documento.

A las Biólogas Araceli y Juanita, por su ayuda en el trabajo de laboratorio, ya que sin ella, hubiera tomado más tiempo la culminación de esta tesis.

A mi esposa, Martha Lorena, por el aliento continuo para realizar esta actividad, su ayuda y apoyo incondicional en todo el tiempo que llevó realizarla. Igualmente, a mis hijos Jorge Ignacio (Nacho) y Andrés Elías (Ando)

A mis padres, por la educación y formación que me dieron. A mi madre y en especial a mi Padre, que ya no pudo ver la culminación de esta etapa.

A mis compañeros de trabajo, grupo y amigos del laboratorio:  
Producción de Alimento Vivo de la UAM-Xochimilco  
Aida Malpica; Ramón de Lara, Germán Castro  
y en especial Thalía Castro

MUCHAS GRACIAS A TODOS

## RESUMEN

El análisis de las características biológicas específicas de cada población de *Artemia* permite evaluar, desde el punto de vista evolutivo, la gama de respuestas de la especie y de las poblaciones a un ambiente en particular y sus consecuencias, por ejemplo, la diferenciación morfométrica y el aislamiento reproductivo. En este trabajo se caracterizan a siete poblaciones de *A. franciscana* con base a su morfometría e hibridación, considerando en si misma a la ubicación de cada una de las poblaciones, así como su interrelación con la latitud y el hábitat. Se determinó la morfometría de los estadios quiste, embrión, nauplio y adulto (machos y hembras), con la ayuda de un microscopio estereoscópico, con cámara integrada a un programa autoanalizador de imágenes. De cada estadio se tomaron 100 individuos. Las poblaciones fueron separadas por el tipo de hábitat que ocupan (costero o agua interior), y por la latitud geográfica (norte, centro y sur). Los datos fueron analizados estadísticamente: primero, por un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); segundo, un contraste de medias múltiples usando la prueba de Tukey; tercero, una comparación por hábitat y latitud por medio de la técnica de contrastes. Con los valores morfométricos de los adultos, se consideró realizar una disminución de las variables por medio de la técnica de componentes principales. Asimismo, se procedió a realizar un análisis discriminante para separar a las poblaciones. Para ello se utilizó el paquete estadístico SYSTAT 9.0. Para determinar problemas de especiación, se realizaron intercruzas entre las poblaciones y así determinar la producción de  $F_1$  y  $F_2$ . Los quistes con mayor diámetro son los de SLP (292.32  $\mu\text{m}$ ) y el más pequeño es YAV (229.20  $\mu\text{m}$ ). El diámetro mayor de embrión descapsulado fue para la población de JUCH (258.91  $\mu\text{m}$ ) y el menor para YAV (211.67  $\mu\text{m}$ ). El quiste con un grosor de corion más grande fue para R.SAL (9.98  $\mu\text{m}$ ) y el más

pequeño para SLP (6.43  $\mu\text{m}$ ). Los nauplios más grandes fueron para C.CIEN (472.41  $\mu\text{m}$ ) y los más pequeños para OHUI (379.70  $\mu\text{m}$ ). Las poblaciones se discriminan principalmente por la variable del embrión descapsulado y no presentan una separación significativa por hábitat y latitud. El análisis de componentes principales señaló que todas las variables, tanto de machos como de hembras adultas, son importantes y deberán ser incluidas en el análisis discriminante. En cuanto a los valores de las hembras adultas, la población de JUCH presentó los más altos en todas las variables morfométricas; el valor más pequeño se distribuye en todas las poblaciones. Los machos más grandes, al igual que las hembras, son los de JUCH, mientras que los más pequeños son YAV, TEX y R.SAL. Todas las poblaciones presentaron diferencias significativas en cuanto al hábitat y la latitud. En ambos casos se forman tres grupos: el primero formado por las poblaciones TEX, OHUI y YAV; el segundo por SLP, R.SAL, C.CIEN y el tercero, formado solamente por la población de JUCH. Las poblaciones mexicanas presentan problemas de intercrucía cuando se hibridizan poblaciones costeras con aguas interiores. Existen problemas de éxito reproductivo debido principalmente a problemas prereproductivos, ya que ni siquiera existe un apareamiento entre las parejas. Por todo lo anterior, podemos concluir que las poblaciones mexicanas de *Artemia*, se encuentran en un proceso evolutivo de aislamiento reproductivo, que es la especiación, ocasionado por la adaptación de cada una de las poblaciones a su hábitat específico, el cual a improprio esta característica en el genotipo de las poblaciones, ocasionando problemas pre y postcopulatorios en los organismos, así como diferencias morfológicas en cuanto a la longitud total de las hembras con respecto a la longitud del abdomen del macho. Podemos asegurar que aunque las poblaciones no están totalmente separadas genéticamente, ya que existe un bajo éxito reproductivo en la mayoría de las cruces, así como una baja viabilidad de los híbridos producidos, si se están dando la evolución de barreras genéticas que a la larga darán como consecuencia una especiación entre ellas, así como la

tendencia a formar nuevas especies, sobre todo en aquellas en donde la composición iónica del agua es diferente al cloruro de sodio, como lo son las poblaciones de aguas interiores (C.CIEN, SLP. Y TEX).



## ABSTRACT

The specific characteristics of biological analysis of each *Artemia* population allows the evaluation, from the evolutionary point of view, the range of particular habitat answers of one strain to a specific environment, like the morphometric differentiation and isolation reproduction. In this work seven *Artemia franciscana* strains were morphometric and reproductive characterized, as well as their interrelation with the latitude and the hábitat type. Cysts, embryos, nauplii and adult (males and females) stage were morphometrical with a stereoscopic microscope, with digital camera integrated to a PC computer with a image autoanalyzer program. One hundred individuals were taken for the measures. The populations were separated by latitude (north, central and south) and habitat type (coastal or inland waters). The statistic analysis were: first, to determinate significance difference ( $P < 0.05$ ) in the strains and (ANOVA); second, an average multiple contrast using the Tukey test; third, an habitat and latitude comparison using the average contrasts technique. With the adults morphometric values, it carries out, first an average components technique to decrease the variables number and put it in a discriminant analysis. For all these measures, was used it the statistical package SYSTAT 9.0. To determine especiati3n problems, it was carried out an interbreeding experiment with all *Artemia* mexican strains to obtain and  $F_1$  and  $F_2$  reproductive production. SLP (292.32  $\mu\text{m}$ ) has the biggest cyst diameter and YAV (229.20  $\mu\text{m}$ ) has the smallest. The bigger diameter of decapsulated embryo was for JUCH (258.91  $\mu\text{m}$ ) population and the minor for YAV (211.67  $\mu\text{m}$ ). The bigger thickness chorion was for R.SAL (9.98  $\mu\text{m}$ ) and the smallest for SLP (6.43  $\mu\text{m}$ ). The biggest nauplii was for C.CIEN (472.41  $\mu\text{m}$ ) and the smallest for OHUI (379.70  $\mu\text{m}$ ). All populations are principally discriminated by the decapsulated embryo and they don't show a significant habitat and latitude separation. The average component technique, shows that all adult

morphometrical variables (male and female), were important in need to included in the discriminant analysis. For adult females, JUCH has highest values in all the morphometrical data; the smallest values wer distributed in all other populations. For data males, the biggest ones are those of JUCH, while the smallest are for YAV, TEX and R.SAL strains. All the populations shows significant differences in habitat and latitude relationship. In both cases (latitude and habitat), three groups are formed: first one, with TEX, OHUI and YAV populations; second, with SLP, R.SAL, C.CIEN and third, only with JUCH strain. The interbreeding studie shows that the Mexican populations present reproductive isolation between coastal and inlandwaters populations. The low reproductive success in the interbreeding experiment shows prereproductive and postreproductive problems. The mayor problem in the prereproductive phase, is the absence of couple mating and in the postreproductive phase, is the low survival of the produced hybrid. For all above discuss, it is possible to conclude that the Mexican *Artemia* are found it, in an evolutionary process of reproductive isolation that is called speciation. This speciation is caused by the adaptation of each population to their specific physico-chemical habitat characteristics and printed this information in the genotype of each population, that was determined the pre and post reproductive problems in the different Mexican *Artemia* strains. Another important thing to considerate, were the relation of the morphometrical differences in total length of the females, with regard to the male abdomen length. I can assure, although that the Mexican populations, are not completely separate genetically, the low reproductive success in most crosses and a produced low viability of the hybrid ones, lead to an evolution of genetic barriers that they will give us, an speciation among them in a “short time”, as well as the tendency to form new species, mainly in those habitats where the ionic composition of the water is different to the sodium chloride, like inland water Mexican populations (C.CIEN, SLP. and TEX).

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>MARCO TEORICO</b>	
Taxonomía	7
Biogeografía de <i>Artemia</i>	9
Aislamiento reproductivo	16
Características de la superespecie <i>A. franciscana</i>	17
Morfométricas	17
Reproductivas	18
<b>ANTECEDENTES</b>	
Estudios morfométricos	19
Estudios de aislamiento reproductivo	22
Morfometría y aislamiento	24
<b>HIPÓTESIS</b>	27
<b>OBJETIVOS</b>	
General	27
Particulares	27
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	
Poblaciones de <i>Artemia</i>	28
Diámetro de quiste hidratado	29
Diámetro de embrión descapsulado	29
Talla del nauplio	30
Morfometría de adultos (machos y hembras)	30
Análisis estadístico de la morfometría	32
Aislamiento reproductivo entre las poblaciones	33
<b>RESULTADOS</b>	
Diámetro de quiste hidratado	36
Diámetro de embrión descapsulado	41
Talla del nauplio	46
Morfometría de hembra adulta	51

	<b>Página</b>
Morfometría de macho adulto	62
Aislamiento reproductivo	75
<b>DISCUSIÓN</b>	
Diámetro de quiste hidratado, embrión descapsulado y grosor de corion	
Quiste hidratado	79
Embrión descapsulado	81
Grosor de corion	82
Talla del nauplio	83
Morfometría de adultos	
Hembras	86
Machos	87
Aislamiento reproductivo	91
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones	98
Recomendaciones	100
<b>LITERATURA CITADA</b>	101

## INTRODUCCIÓN

*Artemia* fue descrita en el siglo XVIII y ha sido extensamente estudiada desde el siglo XIX (Sorgeloos, 1980). Cuando las condiciones ambientales son adversas, su principal propiedad es producir formas de resistencia llamadas quistes. Después de un periodo de incubación de 24 a 48 horas en concentraciones óptimas de oxígeno y salinidad, de los quistes emergen las larvas nauplio que pueden administrarse directamente como alimento vivo a una gran variedad de organismos acuáticos.

Este crustáceo cosmopolita no tiene una distribución continua; las poblaciones se encuentran localizadas en biotopos aislados de climas templados y tropicales (Stella, 1933). En consecuencia las características ecológicas, físicas y químicas del hábitat en donde se encuentra este organismo pueden diferir ampliamente (Cole y Browne, 1967; Persoone y Sorgeloos, 1980; Correa y Bückle, 1993). La información más actualizada sobre la distribución de poblaciones de *Artemia* en todo el mundo se encuentra en el trabajo de Triantaphyllidis *et al.* (1998), en el que se enumeran 505 localidades. De éstas, 194 corresponden al continente Americano; Castro *et al.* (2000b), mencionan que en México hay 17 lugares, tres de aguas interiores y los restantes en las zonas costeras.

*Artemia*, aunque se encuentra restringida a cuerpos de agua hipersalinos, tanto en la zona costera como en aguas interiores (Persoone y Sorgeloos, 1980), presenta gran plasticidad en cuanto a las estrategias en su ciclo de vida (Lenz y Browne, 1991); en su morfología (Amat, 1980; Schrehardt, 1987), así como en sus características bioquímicas (Léger *et al.*, 1986), las cuales pueden ser consecuencia del sorprendente grado de división intrapoblacional y del “pool” genético que presentan las especies de este crustáceo (Abreu-Grobois, 1987; Gajardo y Beardmore, 1993).

Varios autores (Gilchrist, 1960; Baid, 1963; Vanhaecke y Sorgeloos, 1980; Lenz y Dana, 1987; Correa *et al.*, 1993), han demostrado que el aislamiento geográfico y las condiciones del hábitat han inducido diversos fenotipos de *Artemia* con diferentes características biológicas, químicas y fisiológicas, y que la biometría de los organismos es influida por la salinidad del medio (Erhardt *et al.*, 1971; Amat, 1980; Castritsi *et al.*, 1987; Lysenko, 1987; Yaneng, 1987; Castro *et al.*, 1989 y Correa y Bückle, 1993). La distribución geográfica de este crustáceo se encuentra correlacionada con el tipo de clima, el 97% de los sitios en donde se localiza este organismo, se catalogan como áreas de extrema aridez (Vanhaecke *et al.*, 1987). Esta variabilidad entre las poblaciones de *Artemia* ha provocado que tanto la sistemática como la taxonomía de este género no hayan sido totalmente establecidas (Hontoria y Amat, 1992).

Se ha propuesto que el nombre específico de *Artemia salina* Leach, 1819, asignado hace muchos años para todas las poblaciones de *Artemia*, sea abandonado para prevenir que la confusión se incremente, ya que las poblaciones presentes en una zona geográfica específica presentan una heterogeneidad específica (Barigozzi, 1974; Clark y Bowen, 1976; Bowen *et al.*, 1978; Persoone y Sorgeloos, 1980). En el continente Americano, se encuentran dos especies de este género (Browne y Bowen, 1991): *Artemia franciscana* (Kellog, 1906) distribuida ampliamente desde Canadá hasta áreas templadas de Sudamérica y la especie *Artemia persimilis* (Piccinelli y Prodoscimi, 1968), endémica de áreas específicas de la pampa Argentina. Ambas especies son bisexuales. No se han encontrado las formas asexuales partenogenéticas en el Continente Americano.

El análisis de las características biológicas específicas de cada población de *Artemia* permite evaluar, desde el punto de vista evolutivo, la gama de respuestas de la especie y de las poblaciones a un ambiente en particular y sus consecuencias,

por ejemplo, la diferenciación morfométrica y el aislamiento reproductivo. La variabilidad observada de una a otra población de *Artemia* no solamente se manifiesta en aspectos biométricos, sino también en aquellos relativos a la eclosión y reproducción, que pueden estar influenciados por condiciones ambientales o por técnicas de manejo. Por ello, es indispensable conocer las características de cada población para proponer manejos adecuados que van a afectar positivamente su aprovechamiento. El estudio de las poblaciones de *Artemia* en estos hábitat permite comprender el problema fundamental que concierne a los mecanismos de especiación y adaptación de este crustáceo, así como la contribución para el uso de este organismo en la acuicultura, debido a que la calidad que tiene como alimento vivo está parcialmente relacionada con su origen geográfico, así como con la estructura genética que posee.

Diferentes métodos se usan para caracterizar a las especies del género *Artemia*. Los métodos más utilizados han sido la comparación de la morfometría del quiste, nauplio y adulto (macho y hembra), de los patrones electroforéticos de diferentes isoenzimas y las pruebas de intercrusa o hibridación (Hontoria y Amat, 1992).

La justificación de este trabajo, es el de caracterizar a siete poblaciones de *A. franciscana* con base a su morfometría e hibridación, considerando en si misma a la ubicación de cada una de las poblaciones, así como su interrelación con la latitud y el hábitat, como variables que presentan características propias, como son las condiciones físico-químicas del hábitat, así como el clima; las cuales ocasionan que los organismos respondan de manera diferente y por lo tanto modifiquen su estructura, así como su función reproductora, provocando con ello la posibilidad de un aislamiento reproductivo. Esta caracterización de las poblaciones bajo estas variables, permitirá valorar si las poblaciones ya presentan diferencias morfológicas marcadas y aislamiento reproductivo y por ende un principio de especiación.

Además, este trabajo, permite cubrir objetivos planteados en el proyecto *Artemia* Biodiversity: current global resources and their sustainable exploitation (ICA4-2000-10067), auspiciado por la Comunidad Europea:

1. Caracterizar a las diferentes especies y/o variedades del género *Artemia* y
2. Definir los conceptos de especie y variedad, así como contribuir a la preservación de la biodiversidad de *Artemia* y su explotación sustentable, basada en estudios morfométricos, biométricos, fisiológicos, marcadores genéticos, estudios reproductivos y de aislamiento.



## MARCO TEÓRICO

### *Taxonomía*

*Artemia* es un crustáceo branquiópodo anostráceo (orden Phyllopoda, Branchyopoda; Suborden Anostraca) perteneciente a la familia Artemidae.

Los primeros estudios sobre *Artemia* se deben a Schlosser, que en 1756 la localiza en unas salinas próximas a Lymington, Inglaterra y publica sus trabajos en una revista local de escasa difusión. Cabe señalar que la descripción morfológica que hace de este organismo es exacta ya que reconoce 11 pares de apéndices torácicos, plasmados en una figura detallada, pero desafortunadamente comete un gran error al considerarla como un insecto áptero (Amat, 1979).

En 1758, Linneo publica su propia descripción en su libro de "Sistema Naturae", aunque con un error que Schlosser no comete, lo dibuja con 10 pares de filópodos. Linneo coloca al organismo dentro de los crustáceos bajo la denominación de *Cancer salinus* L. El nombre del género *Artemia* se debe a W.E. Leach (1819); posteriormente surgen diferentes trabajos (Packard, 1883; Simon, 1886 citados en Amat, 1979), en los cuales se describe al mismo organismo pero bajo otros nombres genérico como: *Gammarus*, *Artemisia*, *Branchipus*, *Eulimene*, entre otros, dependiendo de los vaivenes de la sistemática. En 1910, Daday De Dees (citado en Amat, 1980), introduce a *Artemia* en la familia Branchinectidae. De esta fecha hasta principios de 1930, Artom (citado en Abreu-Grobois, 1987), además de mencionar las dos formas de reproducción de este género (bisexual y partenogenético), pone en evidencia los distintos grados de poliploidía en *Artemia*, con lo que conservando un solo nombre específico, empieza a suponer la existencia de diversas variedades: Univalens/bivalens, Micropireni-ca/Macropirenica, que

responden a diversos grados de ploidía y que manifiestan, paralelamente, aspectos distintos en la morfología, biología y ecología de las respectivas poblaciones.

Linder (1941), tomando en cuenta el criterio de unicidad taxonómica, acepta una sola especie *Artemia salina* Leach, 1812. Sin embargo, Kuenen (1939) menciona que la forma bisexual diploide de California (EUA), no se cruzaba con la forma bisexual diploide de Cagliari (Cerdeña, Italia), lo que, unido a ciertas características morfológicas esencialmente distintas, le lleva a reconocer dos especies, proponiendo el nombre de *Artemia gracilis* para la forma californiana y *Artemia salina* para la forma europea. Desafortunadamente, las salinas de Lymington desaparecieron hace tiempo lo que impide tener acceso al material original de referencia (actualmente se encuentra solamente en el Centro de referencias de *Artemia* en Gante, Bélgica), por lo cual se desconoce la vinculación que aquella raza o población pudiera tener en las actuales poblaciones bisexuales existentes en los continentes eurasiático, africano o americano (Amat, 1985). Además, el progresivo reconocimiento y hallazgo de razas partenogenéticas de diversa ploidía (Artom, 1922; Stella, 1933; Goldschmidt, 1952; Barigozzi, 1957; Amat, 1979, 1983; citados en Abreu-Grobois, 1987) ha venido a complicar la situación, con lo que la definición específica dentro del género *Artemia* se ha hecho más confusa; por todo ello se aconseja que hasta que los procesos de especiación estén perfectamente explicados, se designe exclusivamente con la denominación genérica. De ser necesaria una denominación binomial para distinguir diferentes formas, se debe añadir a *Artemia*, un segundo nombre que haga referencia a su origen geográfico. Este tipo de denominación binomial solamente se da en poblaciones del mismo género que no se cruzan entre sí, dando diferentes especies.

Las especies que han sido estudiadas hasta esta fecha se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Lista de las especies hasta el momento encontradas, del género *Artemia* sp.**

Especie	Referencia
<i>Artemia franciscana</i>	Kellog, 1906 (domina en América)
<i>Artemia tunisiana</i>	Bowen-Sterling, 1978 (Europa, Africa)
<i>Artemia urmiana</i>	Günther, 1890 (Irán)
<i>Artemia monica</i>	Verril, 1869 (Mono Lake, EUA.)
<i>Artemia persimilis</i>	Piccinelli-Prosdocimi, 1968 ( Argentina y Chile)
<i>Artemia parthenogenetica</i>	Bowen-Sterling, 1978 (Eurasia, Africa y Oceanía)
<i>Artemia sinica</i>	Cai, 1989 (Provincias del centro y norte de China)
<i>Artemia tibetiana</i>	Abatzopoulos <i>et al.</i> (1998) (Planicies del Tibet)

#### *Biogeografía del género Artemia.*

Es conocido que el camarón de salmuera *Artemia*, habita en lugares hipersalinos y se encuentra ampliamente distribuido (Persoone y Sorgeloos, 1980; Browne y MacDonald, 1982; Vanhaecke *et al.*, 1987; citados en Triantaphyllidis *et al.*, 1998). La diversificación del medio ambiente en donde se encuentra este crustáceo, varía considerablemente en términos de composición iónica de los elementos que se encuentran disueltos en el agua, condiciones climáticas de las diferentes regiones en donde se encuentra y la altitud y latitud en la que se encuentran estos hábitat. Dependiendo del anión predominante, *Artemia* puede habitar lugares en donde la composición de agua es de cloruros, sulfatos o carbonatos y en muchos casos combinaciones de estos (Bowen *et al.*, 1985; Bowen *et al.*, 1988; citados en Triantaphyllidis *et al.*, 1998). Al mismo tiempo, podemos encontrar a este organismo en sitios elevados sobre el nivel del mar como en Texcoco, Edo de México (Castro, 1993) o hasta 4,500 msnm como en el Tibet (Xin *et al.*, 1994) y bajo condiciones climáticas extremas que pueden ir desde el trópico húmedo y subhúmedo hasta el árido (Vanhaecke *et al.*, 1987).

Recientemente, se ha incrementado de forma considerable la información referente a la existencia de *Artemia* en los países asiáticos, especialmente en China (Triantaphyllidis *et al.*, 1994; Xin *et al.*, 1994). Más aún, se ha incrementado el número de los estudios morfométricos y genéticos de estas poblaciones, comparándolas con poblaciones bien conocidas como *Artemia franciscana*.

La cantidad de localidades por país en donde se encuentra *Artemia* se presenta a continuación en la Tabla 2. Los datos fueron tomados de Triantaphyllidis *et al.* (1998), que es la publicación más reciente con la información mundial de los sitios en donde se encuentra este crustáceo.

**Tabla 2. Localidades en donde se encuentra *Artemia* a nivel mundial.**

Continente	País	No. sitios	Continente	País	No. sitios
Africa	Algeria	9	Asia	China	51
	Egipto	4		Mongolia	20
	Kenia	1		India	19
	Libia	5		Iraq	4
	Madagascar	3		Irán	4
	Marruecos	6		Israel	2
	Mozambique	1		Japón	3
	Namibia	1		Kuwait	1
	Nigeria	1		Korea	1
	Senegal	3		Pakistán	1
Australia y Nueva Zelandia	Sudáfrica	5	Sri Lanka	4	
	Tunez	8	Taiwan	1	
	Nueva Zelandia	1	Turquía	6	
	Queensland	3	Europa	Bulgaria	2
Australia Sur	1	Croacia		3	
Australia oeste	5	Chipre		2	
Norteamérica	Canadá	38		Francia	15
	USA	51		Grecia	6
				Italia	11
				Kazakastán	4

Tabla 2. Localidades en donde ..... (Continuación)

Continente	País	No. sitios	Continente	País	No. sitios
América Central y Caribe	Bahamas	3		Portugal	5
	Isla Vírgenes Británicas	1		Rumania	14
	Islas del Caribe	4		Rusia	15
	Costa Rica	2		España	48
	República Dominicana	5		Ucrania	10
	Haití	1			
	México	17			
	Antillas Holandesas	8			
	Nicaragua	1			
	Puerto Rico	6			
	Argentina	4			
	Bolivia	4			
	Brasil	6			
	Chile	11			
	Colombia	2			
	Ecuador	3			
	Perú	9			
	Venezuela	9			

Aunque ha habido progresos en el reporte de nuevas poblaciones de *Artemia*, el conocimiento que se tiene sobre la biogeografía de este anostraco es limitado para la región de Asia, África y Este de Europa. Actualmente, el interés se ha centrado en Asia debido a la descripción de nuevas especies en estas zonas (Pilla y Beardmore, 1994; Xin *et al.*, 1994). El género *Artemia* está compuesto de algunas especies bisexuales y numerosas poblaciones partenogenéticas. Las poblaciones partenogenéticas están compuestas por individuos, bi-tri-tetra y pentaploide o mezclas de diferentes ploidías (Browne y MacDonald, 1982).

De acuerdo a Bowen *et al.* (1985), *A. franciscana* está considerada como una superespecie (un conjunto de subespecies aisladas tanto ecológicamente como

fisiológicamente); estos grupos poblacionales pueden estar aislados reproductivamente en la naturaleza: *Artemia franciscana franciscana* (Kellog, 1906) (por ejemplo del Gran Lago Salado, UTAH, EUA; y salinas costeras del Norte, Centro y Suramérica) aisladas con la población *Artemia franciscana monica* (Verrill, 1869) del lago Mono en California, EUA o de *Artemia franciscana sp.* que incluye a poblaciones de aguas carbonatadas como la que se encuentra en Nebraska, EUA (Browne y Bowen, 1991). Las barreras ecológicas son los principales factores que separan a la mayoría de las poblaciones de *A. franciscana*, mostrando algún principio de especiación (Bowen *et al.*, 1985; Abreu-Grobois, 1987). De acuerdo a Browne y Bowen (1991), la diversificación entre poblaciones se debe a las diferencias que se encuentran en la composición química de los hábitat y por consiguiente en la intolerancia de cada población a habitar otro lugar diferente, al cual se encuentra aclimatada.

Poblaciones endémicas de *A. franciscana* pueden encontrarse en el Continente Americano, como resultado de la introducción de esta especie a las diferentes salinas dedicadas a la producción de sal o a la producción masiva de quistes y biomasa de este pequeño crustáceo, para su utilización en la acuicultura, como es el caso de Brasil (Persoone y Sorgeloos, 1980), Australia (Geddes, 1980), y República Popular de China (Triantaphyllidis *et al.*, 1994, 1995). El cultivo de forma temporal de *Artemia* es practicado en muchos países tropicales y subtropicales como Filipinas (De los Santos *et al.*, 1980), Tailandia (Tarnchalanukit y Wongrat, 1987), Vietnam (Vu Do y Nguyen Ngoc, 1987). Sin embargo, debido a las condiciones ambientales particulares de estos países, las poblaciones de *Artemia* no son permanentes y es necesario realizar inoculaciones anuales.

*Artemia persimilis* se encuentra principalmente en Argentina (Cohen *et al.*, 1999) y Chile (Gajardo *et al.*, 1995 y 1998) y en el Mediterraneo, en la localidad de Sardinia (Piccineli y Prosdocimi, 1968). Sin embargo, en años recientes la población

de Sardinia no ha podido ser confirmada (Barigozzi, 1989). Esta especie presenta 44 cromosomas, a diferencia de los 42 de las otras especies bisexuales.

*Artemia partenogenetica* se encuentra distribuída en la región del Mediterraneo, en Africa, en Asia y Australia principalmente. Mientras que *Artemia salina* (Leach, 1819), se encuentra distribuida en la parte baja del Mediterraneo; *Artemia urmiana* (Günther, 1900) en Irán en el Lago Urmia; *Artemia sinica* (Cai, 1989) distribuída en la provincias Central y Norte de China y *Artemia sp.* (Pilla y Beardmore, 1994) en Kazakastán. *Artemia tunisiana* (Bowen y Sterling, 1978) en Túnez y se considera como sinónimo de *A. salina* y de acuerdo al código de la nomenclatura zoológica como ya se mencionó, este término ya no se utiliza (Triantaphyllidis, 1995, Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sup>a,b</sup>).

Se han usado diferentes métodos y disciplinas para la designación de una especie de *Artemia* (Clark y Bowen, 1976; Beardmore y Abreu-Grobois, 1983; Abreu-Grobois, 1987; citados en Triantaphyllidis *et al.*, 1998):

- 1) La morfología del estadio adulto (hembras y machos). En machos principalmente la furca y el “knob” frontal.
- 2) El número específico de cromosomas.
- 3) La distancia genética (Nei’s D), determinada por electroforesis de aloenzimas.
- 4) Experimentos de intercrusa para demostrar aislamiento reproductivo en condiciones de laboratorio.

Bajo los criterios mencionados anteriormente, solamente han sido estudiadas las siguientes especies: *A. franciscana*, *A. persimilis*, *A. tunisiana* y *A. urmiana* (Browne y Bowen, 1991). Recientemente, Pilla y Beardmore (1994) han demostrado que *A. urmiana*, *A. sinica* y la población de Kazakastán (desafortunadamente de origen desconocido), presentan una gran diferenciación morfométrica y genética; sin embargo, bajo condiciones de laboratorio estas poblaciones son fértiles cuando se cruzan sin mostrar debilidad en el híbrido formado. Se presenta infertilidad completa al cruzar las poblaciones de Europa con la población de *Artemia franciscana* del continente Americano, debido principalmente a la diferencia existente en el número de cromosomas. Truong y Trong (1995), demostró la ausencia de barreras genéticas entre *Artemia urmiana*, *Artemia sinica* y *Artemia sp.* de Kazakastan ya que pudo alcanzar generaciones hasta la F<sub>6</sub>. En las poblaciones del este de Europa no se ha considerado la presencia de barreras genéticas (pre-cruza y post-cruza), que provoquen la interrupción del flujo génico entre las poblaciones. Estos estudios demuestran que hay que considerar una combinación de métodos y disciplinas para caracterizar a las nuevas poblaciones de *Artemia*, ya sea por morfología, distancia genética, citogenética, aislamiento ecológico y/o experimentos de intercruza.

La distancia geográfica, es un factor muy importante ya que puede actuar como una barrera que impida el flujo génico entre las poblaciones. Aunque pruebas en el laboratorio muestran que no existe un aislamiento entre las poblaciones y sin embargo, en la naturaleza se da por separación geográfica. El estudio de poblaciones intermedias podría permitirnos contemplar la evolución de este género. Sería importante conocer cuál de estas especies son alopátricas y se distribuyen sin un solapamiento o si se presenta una hibridación alopátrica en algunas zonas.

Los eventos filogenéticos del género *Artemia* han sido descritos por Pilla (1992), Thomas (1995) citados en Triantaphyllidis *et al.* (1998), los cuales son:



- 1) Separación de la línea bisexual del “viejo mundo” y del “nuevo mundo”.
- 2) Separación de las líneas *Artemia francisca* y *Artemia persimilis*.
- 3) Separación de la línea *Artemia salina* de *Artemia sinica*, *Artemia urmiana* y *Artemia sp.* de Kazakastan.
- 4) Separación de la línea *Artemia sinica* de *Artemia urmiana* y *Artemia sp.* de Kazakastán.
- 5) Origen de la partenogénesis después de eventos mutacionales (Barigozzi, 1980) de la línea común *Artemia urmiana*.
- 6) Origen de la tetraploidía de una línea diploide ancestral.
- 7) Origen de la pentaploidía de una línea tetraploide.

De acuerdo a Abreu-Grobois y Beardmore (1982), las especies triploides surgen de eventos independientes de las especies diploides. El origen de la partenogénesis en *Artemia* es monofilético y está relacionada cercanamente a la línea que dio origen a *Artemia urmiana* (Beardmore y Abreu-Grobois, 1983). La evolución de la partenogénesis y posteriormente el origen de la poliploidía, tuvo lugar hace 5.4 millones y 1.7 millones de años respectivamente. Estos mismos autores sugieren que el centro de origen de los organismos partenogenéticos de este crustáceo fue el Mediterráneo, el cual sufre hace 6 millones de años un incremento de salinidad y por lo tanto una subdivisión de hábitats. Este fenómeno produjo muchas oportunidades para la colonización de diferentes formas partenogenéticas (Abreu-Grobois, 1987).

### *Aislamiento reproductivo*

La capacidad reproductiva y el aislamiento reproductivo son dos objetivos que tienen mayor interés para la ecología evolutiva. Por una parte, la selección natural compara las variaciones que son heredables por su efecto en la reproducción y la diferencia encontrada en las poblaciones es interpretada como el resultado de una adaptación a diferentes condiciones medioambientales. Individuos con patrones reproductivos que permiten a la población tener un mayor grado de bienestar en el ambiente, son aquellas que son favorecidas por la selección natural (Dingle y Hegman, 1982; Loeschke, 1987; De Jong, 1988; Páztor, 1988; Stearns, 1993; Rose y Lauder, 1996; citados por Gajardo *et al.*, 2001). Por otro lado, el aislamiento reproductivo es un factor clave en la definición biológica de la especie (Mayr, 1969). Sin embargo, el proceso de especiación está considerado como equivalente al desarrollo de las barreras que provocan la separación entre las poblaciones. Es así que la hibridización entre las poblaciones puede tener poca significancia evolutiva, ya que el híbrido formado puede llegar a presentar una menor fortaleza para resistir en el ambiente de donde proceden sus progenitores, provocado por una divergencia genómica que ocasiona que el descendiente no pueda soportar el mismo hábitat que sus progenitores (Gajardo *et al.*, 2001).

Los estudios de cruzamiento han sido de gran utilidad para el establecimiento de grupos específicos con un grado de aislamiento reproductivo (Dobzhansky, 1951; Mayr, 1970 citados por Correa *et al.*, 1993). De esta manera, se han encontrado tres formas bisexuales con aislamiento reproductivo en *Artemia*: *Artemia tunisiana*, principalmente de los lagos salados de Túnez, aunque se considera en Europa y Norte de África; *Artemia franciscana*, localizada tanto en el norte, centro y Sudamérica y, Mar Caribe; *Artemia persimilis*, localizada particularmente en Argentina y Chile; *Artemia monica*, que no es fértil al cruzarse con *Artemia*

*franciscana*, aunque esto es debido principalmente, a la incapacidad de esta especie a tolerar una composición iónica diferente a las de su hábitat, ubicado en el Mono Lake (EUA) (Clark y Bowen, 1976; Bowen *et al.*, 1980; Abreu-Grobois y Beardmore, 1982, Beardmore y Abreu-Grobois, 1983 (citados por Correa *et al.*, 1993).

La población de Mono Lake (EUA) (*A. monica*), no está claramente diferenciada de la especie *A. franciscana* del continente Americano, ya que los valores típicos de distancias genéticas son bajos (0.06 a 0.09). Por lo tanto, el grado de diferenciación genética entre éstas las coloca como especies gemelas (“sibling species”) (Abreu-Grobois y Beardmore, 1982; Beardmore y Abreu-Grobois, 1983; citados por Correa *et al.*, 1993).

#### *Características de la población de la superespecie Artemia franciscana.*

La especie estudiada en este trabajo es *Artemia franciscana*, que se encuentra distribuida principalmente en el Continente Americano y que se considera como “típica” la población proveniente de la Bahía de San Francisco, California, USA (BSF), la cual presenta las siguientes características:

#### **Morfométricas:**

##### **a) Quistes y nauplios**

Los datos se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3. Biometría de quistes y nauplios de *Artemia franciscana***

Característica	Valor promedio $\pm$ d.e. ( $\mu\text{m}$ )
Diámetro quiste hidratado	237.4 $\pm$ 14.60
Diámetro embrión descapsulado	212.1 $\pm$ 11.30
Grosor de corion	8.3
Talla de nauplio	431.0 $\pm$ 23.7

Fuente: Castro *et al.* (2000a)

## b) Adultos

Los datos se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4. Morfometría de hembras y machos adultos de *Artemia franciscana* de Bahía de San Francisco, Calif. EUA. (BSF).**

Medida morfométrica	Valores promedio $\pm$ d.e. (mm)	
	Hembras de BSF	Machos de BSF
Longitud total	10.253 $\pm$ 0.894	7.086 $\pm$ 0.379
Longitud del abdomen	3.753 $\pm$ 0.115	1.894 $\pm$ 0.304
Ancho del abdomen	0.914 $\pm$ 0.341	0.628 $\pm$ 0.065
Longitud de la furca	0.260 $\pm$ 0.000	0.262 $\pm$ 0.000
Ancho de la cabeza	0.945 $\pm$ 0.306	0.808 $\pm$ 0.041
Diámetro de los ojos	1.716 $\pm$ 0.084	1.580 $\pm$ 0.069
Ancho saco ovígero	2.064 $\pm$ 0.299	-----
Distancia entre ojos	0.324 $\pm$ 0.012	0.320 $\pm$ 0.000
Longitud de las anténulas	0.710 $\pm$ 0.000	0.900 $\pm$ 0.073

Fuente: Castro *et al.* (2000a)

## Reproductivas

Los datos se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5. Características reproductivas de *Artemia franciscana* de BSF.**

Características reproductivas	Cantidad
Periodo prereproductivo	30.5 días
Periodo reproductivo	56.2 días
Periodo postreproductivo	5.2 días
Número de puestas	14
Periodo entre puestas	4 días
Nauplios/hembra/puesta	80
Quistes/hembra/puesta	31
Huevos inmaduros	0

Fuente: Castro *et al.* (1999).

## ANTECEDENTES

### *Estudios morfométricos*

Una de las recopilaciones más antiguas acerca de la biometría de poblaciones de *Artemia* con diferente origen geográfico es la de Vanhaecke y Sorgeloos (1980), aunque solamente consideran el diámetro de los quistes y la talla del nauplio de 17 poblaciones tanto de América del Norte y Sur (Venezuela, Argentina, Brasil, Canadá, Puerto Rico y Estados Unidos de Norteamérica); Francia, Italia y España en Europa; así como La India, Australia China y Filipinas. En este mismo año Amat (1980), presenta su estudio sobre la diferenciación y distribución de las poblaciones de España, haciendo referencia al análisis morfológico, estudios alométricos referidos al crecimiento y a la forma, estableciendo para todos los estudios morfométricos las mediciones a considerar tanto en hembras como en machos adultos para poder comparar los resultados de todo investigador en *Artemia*.

Para 1987, en el II Congreso Internacional de *Artemia* realizado en Bélgica, Castritis y colaboradores, presentan un trabajo sobre la población de Milos, Grecia; desafortunadamente estos autores no realizaron una separación de las medidas correspondientes para hembras y machos, sino que mostraron un promedio de las medidas para ambos. Asimismo, Yaneng (1987), presenta el primer trabajo sobre poblaciones bisexuales y partenogenéticas presentes en la República Popular de China, aunque solamente realiza una comparación de la longitud total y longitud del abdomen de estas dos poblaciones encontradas. También Van Ballaer *et al.*(1987), hacen una caracterización de *Artemia* presente en cinco diferentes localidades, pero el estudio biométrico solamente se concentra en la biometría de quistes y nauplios.

En 1989, Abatzopoulus y colaboradores realizan la caracterización de dos poblaciones del norte de Grecia. La biometría no solamente es de quistes y nauplios sino que también, se hace sobre adultos de estas dos poblaciones. Sin embargo, no se hace la separación entre hembras y machos. También para este año, se cuenta con una tesis de licenciatura en Biología por parte de Franco (1989), realizada en la población de *Artemia* presente en el Bolsón de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México, este autor realiza la biometría de los organismos, por estadio de desarrollo, pero solamente registra la longitud total, tanto de machos como de hembras.

Para 1992, es nuevamente que se hace una revisión a nivel mundial sobre los trabajos realizados sobre la morfología de las diferentes poblaciones de *Artemia*, tanto para las poblaciones de América (Hontoria y Amat, 1992<sub>a</sub>), como para las del Mediterráneo (Hontoria y Amat 1992<sub>b</sub>). Las mediciones consideradas fueron: longitud total; longitud del abdomen; ancho del tercer segmento abdominal; ancho del ovisaco en hembras; longitud de la furca; número de setas insertas en cada brazo de la furca (izquierda y derecha); ancho de la cabeza; diámetro máximo y distancia entre los ojos compuestos; longitud de la anténula. De este trabajo se desprende la utilización del análisis multivariado para separar a las diferentes poblaciones, así como la determinación de las variables más significativas para la discriminación de las poblaciones.

En 1993, Correa y Bückle realizan los estudios morfométricos de cinco poblaciones mexicanas de *Artemia*, cuatro presentes en diferentes localidades de Baja California y la quinta proveniente de la población de Yavaros, pero ellos realizaron un análisis de rangos con los valores absolutos biométricos promedio de estas poblaciones, sin hacer una separación entre hembras y machos.

Álvarez y Sánchez (1994), realizan la evaluación de la población de *Artemia* proveniente de Las Cumaraguas, en Paraguana, Venezuela, aunque solamente hacen biometría de quistes y nauplios.

Torrentera y Dodson (1995), tratan la diversidad morfológica de las poblaciones de *Artemia* que se encuentran en Yucatán, México, considerando cuatro poblaciones de la región: Celestun, Chuburna, Xtampu y Las Coloradas, pero solamente consideraron la biometría del quiste y del nauplio, y de los adultos solamente la longitud total y la forma de las estructuras del ovisaco en las hembras y del “knob” en los machos. También Castro *et al.* (1995), hacen el análisis morfológico de la población mexicana de Las Coloradas, Oaxaca, México y comparan los resultados con la población de BSF.

En 1997 Castro *et al.* (1997<sub>a</sub>), hacen el estudio morfométrico de la población de Cuatro Ciénegas, Coahuila, comparando los datos biométricos de quistes, nauplios y adultos con las poblaciones mexicanas de San Luis Potosí y Texcoco y la de la Bahía de San Francisco (BSF). Es en este caso que se hace la primera comparación entre las poblaciones mexicanas, encontrando diferencias entre ellas; Castro *et al.* (1997<sub>b</sub>), con la población de Bahía de Ceuta, Sinaloa y Castro *et al.* (1997<sub>c</sub>), con la población de Yavaros, Sonora. En ambos casos, las poblaciones se comparan morfométricamente con la población de BSF.

Es en este año de 1997, que Triantaphyllidis y colaboradores, vuelven a realizar un trabajo para recopilar la información morfométrica de las diferentes poblaciones de *Artemia* que se encuentran a nivel mundial, pero en esta ocasión la separación se hace entre poblaciones bisexuales (Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sub>a</sub>) y poblaciones partenogénicas (Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sub>b</sub>). En ambos casos el estudio se realiza con 30 y 31 animales; se hace la separación entre hembras y machos y el análisis estadístico es un análisis multivariado para observar si existe

separación entre las poblaciones, dando énfasis en las mediciones que discriminan a las poblaciones.

Para el año 2000, el grupo de investigadores de la UAM-Xochimilco y el Scientific Research Council de Kingston, Jamaica, elaboran el documento sobre el análisis morfológico de la población de la Laguna Pequeña de Yallahs, Jamaica (Castro *et al.*, 2000). Realizando la comparación de hembras y machos de Jamaica con la población de BSF.

La publicación más reciente en este campo es realizada por El-Bermawi *et al.* (2004), en donde se presenta un estudio sobre el efecto que tiene la salinidad, sobre la sobrevivencia y morfometría de poblaciones de *Artemia* de Egipto, haciendo una comparación entre una población partenogenética y la otra bisexual. Las poblaciones que habitan aguas costeras presentan semejanzas en las morfometría, independiente de la salinidad. El análisis discriminante señala que la longitud de la furca, así como el número de setas en cada furca, son los caracteres principales que discriminan a estas poblaciones.

#### *Estudios de aislamiento reproductivo*

El primer trabajo de intercruzas con diferentes poblaciones de *Artemia*, es realizada por Bowen (1965) y no es hasta 1980 que Bowen y colaboradores realizan un trabajo de poblaciones emparentadas, con características semejantes, a las cuales las considera como poblaciones gemelas (sibling species). Es en este mismo año, Browne (1980<sub>a,b</sub>), determina el patrón y modo de reproducción en *Artemia*, así como la intercrusa de poblaciones bisexuales y partenogenéticas.

En 1985, Bowen y colaboradores, estudian los aspectos reproductivos y el aislamiento ecológico entre las poblaciones adaptadas a diferentes composiciones



químicas del agua, determinando con ello que las poblaciones se encuentran separadas por la imposibilidad de habitar aguas con ciertas condiciones químicas específicas.

Gallardo y Castro (1987), realizan el primer estudio de intercruzas entre poblaciones mexicanas de este crustáceo, realizándolo con las poblaciones de Ceuta, Yavaros, Texcoco y San Crisanto. Estos autores observaron que aunque las poblaciones daban descendencia fértil, el número de cruzas exitosas fue bajo.

Correa *et al.* (1993b), efectuaron un estudio de hibridación de dos poblaciones de Baja California con la población de BSF, observando descendencia fértil en las cruzas estudiadas, pero el éxito de cruce fue desde un 7% hasta un 80% en los experimentos.

Triantaphyllidis *et al.* (1994), realizan los primeros estudios reproductivos con las poblaciones Chinas de *Artemia*, pero solamente se considera el tipo de reproducción bisexual o partenogenética. Amat *et al.* (1994), llevan al cabo el estudio de la morfometría con las poblaciones chilenas. El estudio considera la separación de hembras y machos y el análisis multivariado entre las poblaciones

Gajardo *et al.* (1995), estudian la variabilidad genética de las poblaciones de Sudamérica, pero no con base en las intercruzas, sino determinando la codificación de 22 loci proteicos y la frecuencia alélica, así como la distancia genética entre las poblaciones construyendo con ello un dendograma. Espinosa *et al.* (1995), realizan lo mismo solamente con 10 loci proteicos con poblaciones de Cuba y comparan los datos con *Artemia franciscana* de BSF, encontrando diferencias significativas.

Correa y Tapia (1998), estudiaron el comportamiento reproductivo de la población de *Artemia franciscana* de San Quintín, Baja California, haciendo

intercruzas con la población de Yavaros, Sonora, encontrando éxito reproductivo del 75% cuando se utiliza el macho de San Quintín; pero al utilizar la hembra de esta población con el macho de Yavaros, el éxito baja hasta 55%.

Castro *et al.* (1999), estudiaron la variación del patrón reproductivo de las poblaciones de *Artemia* de Yavaros, Bahía de Ceuta y BSF. Encontrando problemas de producción en la intercrusa de las poblaciones mexicanas, pero al realizar la crusa con la población de BSF, la producción se incrementa significativamente. En este trabajo, se observa nuevamente el problema que tienen las poblaciones mexicanas para realizar cruzas exitosas.

Naihong *et al.* (2000), estudiaron la diferenciación genética en las poblaciones bisexuales Chinas de este crustáceo. El estudio se hizo en quistes y lo que se determinó fue la distancia genética entre las poblaciones.

#### *Morfometría y aislamiento*

Castro *et al.* (1989), realizan estudios con la población de Las Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, en cuanto a la biometría de los adultos (hembras y machos) se da a conocer los datos promedio, así como de las medidas de quistes y nauplios para compararlos con los datos reportados por Vanhaecke y Sorgeloos (1980). En cuanto a las cruzas, los autores las realizan con Yavaros, Texcoco, San Crisanto y Bahía de Ceuta. La intercrusa que presenta mayor éxito es la de San Luis Potosí y San Crisanto y todas las demás presentan disminución en el éxito de número de cruzas.

Triantaphyllidis *et al.* (1995), realizan todo un estudio comparativo de la morfología y la reproducción de la población de Tanggu, provincia de Tianji, China con la población de *Artemia franciscana* (BSF). En la morfometría se aplica el análisis multivariado y para intercruzas prueban diferentes salinidades que van

desde 35 g/L hasta 180 g/L de salinidad. Los autores concluyen que la población partenogenética tiene problemas para sobrevivir a altas salinidades, mientras que la población bisexual de BSF, se reproduce y es más exitosa a estas concentraciones de sal.

Abatzopoulos *et al.* (1998), efectuaron la primera caracterización de la población de *Artemia tibetiana*, encontrada en la República Popular de China y determinaron la biometría del quiste y nauplio y la longitud total del macho y de la hembra. En este trabajo se realizaron estudios de cromosomas, así como la determinación de la distancia genética con *Artemia franciscana*, *Artemia salina*, *Artemia urmiana* y *Artemia sinica*. La compatibilidad reproductiva fue evaluada con un par de cruzas recíprocas entre *Artemia tibetiana* y *Artemia franciscana*, *Artemia salina*, *Artemia urmiana*, *Artemia sinica* y *Artemia* sp. Los autores concluyen que después de todos los estudios *Artemia tibetiana* puede ser considerada como una nueva especie.

Gajardo *et al.* (1998), realizan el estudio de la diferenciación morfométrica y aislamiento reproductivo de las poblaciones del Sur de América (seis poblaciones chilenas, una de Argentina, una de Perú y dos de Brasil) y comparan con la población de BSF. El análisis morfométrico se realiza por análisis discriminante, obteniendo que la longitud total, longitud del abdomen, ancho del abdomen y separación entre ojos, determinan la separación de las poblaciones del 95.55%. En cuanto a las cruzas no existe problemas, ya que el éxito de crusa es por arriba del 90%.

Para 1999, Cohen y colaboradores, caracterizan morfométrica y reproductivamente a las poblaciones de las provincias de La Pampa y Buenos Aires. La biometría se hace de los quistes y de la población adulta, sin hacer separación de hembras y machos. En el análisis de la información es por un multivariado,

determinando las funciones que discriminan más a las poblaciones. La intercrusa se realiza con la población de BSF. Los autores concluyen que las poblaciones corresponden a *Artemia persimilis*. En este mismo año, Zúñiga *et al.* (1999), realizan ambos estudios pero para las poblaciones chilenas, usando el mismo método multivariado para la morfometría e intercrusa recíproca para el análisis reproductivo. La primera función discriminante separa a las poblaciones chilenas, siendo la variable el tamaño de la furca caudal y que es la variable que más discrimina a estas poblaciones. En cuanto a la parte reproductiva, las cruza presentan ovoviviparidad y puede obtenerse sin problema descendencia F<sub>2</sub>.

Abatzopoulus *et al.* (2002), realizan la más reciente compilación sobre la información existente sobre la biología y aplicación de este crustáceo. En el capítulo IV Van Stappen (2002), abarca los aspectos zoogeográficos de este género considerando desde los aspectos ecológicos de la distribución de este organismo a nivel mundial, así como su relación con la existencia de un aislamiento ecológico, así como de la posibilidad de coexistencia en un mismo hábitat de diferentes variedades de *Artemia*. En el capítulo V Gajardo *et al.* (2002), abarcan los aspectos de evolución y especiación que han presentado a lo largo de su existencia este género; considerando las diferentes especies de *Artemia* que hasta el momento se tienen detectadas, así como estudios genómicos para realizar su caracterización. Además tratan los estudios sobre variación genética así como la relación de los estudios ecológicos y de evolución que impactan sobre este crustáceo; considerando la estructura de las poblaciones y los patrones de especiación que se presentan en el género de *Artemia*. Al final de este capítulo, los autores tratan el asunto sobre los factores que determinan el aislamiento reproductivo entre las diferentes especies de *Artemia*.

## HIPÓTESIS

México cuenta con diferentes cuerpos salinos, localizados no solamente en las costas del territorio nacional, sino también en aguas epicontinentales. Esta variedad de hábitats, con características propias, influye en la diferenciación morfométrica de las poblaciones de *Artemia franciscana*, así como en el aislamiento reproductivo entre ellas, como un principio de especiación.

## OBJETIVO GENERAL

Determinar indicios de especiación en siete poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana*, con base a su morfometría y aislamiento reproductivo en relación a su latitud y tipo de hábitat.

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar, comparar y diferenciar la biometría de quistes (hidratado y descapsulado) y nauplio de las poblaciones de *A. franciscana* en estudio.
2. Caracterizar, comparar y diferenciar la biometría de adultos (macho y hembra), de las poblaciones de *A. franciscana* en estudio.
3. Caracterizar, comparar y diferenciar la biometría de quistes, nauplios y adultos (hembras y machos), agrupando a las poblaciones por tipo de hábitat (Costero Pacífico, Costero Golfo y Aguas Interiores).
4. Caracterizar, comparar y diferenciar la biometría de quistes, nauplios y adultos (hembras y machos), agrupando a las poblaciones por la latitud en la que se encuentran (Norte, Centro y Sur).
5. Caracterizar, comparar y diferenciar el aislamiento reproductivo entre las poblaciones de *A. franciscana* en estudio.

## MATERIAL Y METODOS

### *Poblaciones de Artemia.*

La ubicación, localización geográfica, altitud y tamaño de los cuerpos de agua de las poblaciones de *Artemia* estudiadas en este trabajo se presentan en la tabla 6 y figura 1.

**Tabla 6. Ubicación, localización geográfica, altitud y tamaño de los cuerpos de agua en México con poblaciones naturales de *Artemia*.**

Nombre	Estado	Localidad	Localización geográfica	Altitud (m)	Tamaño (ha)
<b>POBLACIONES COSTERAS DEL PACIFICO</b>					
Salina Tres Hermanos	Sonora	Yavaros	26°40'N 109°35'W	0	40
Bahía de Ohuira	Sinaloa	Ahome	25°36'N 109°02'W	10	40
Juchitán	Oaxaca	Salinera del Istmo	16° - 16°39'N 94°45' - 95°06'W	38	40
<b>POBLACIONES COSTERAS DEL GOLFO</b>					
Real de las Salinas	Campeche	Real de las Salinas	20°02'N 90°14'W	10	63.16
<b>POBLACIONES DE AGUAS INTERIORES</b>					
Cuatro Ciénegas de Carranza	Coahuila	Cuatro Ciénegas de Carranza	29°36'N 99°20'W	740	0.05
Salinas de Hidalgo	San Luis Potosí	Salinas de Hidalgo	22°39'N 101°43'W	1777	1,800
Texcoco	Edo. Mexico	Ecatepec de Morelos	19°32'N 99°00'W	2250	0.17

Fuente: Castro *et al.* (2000b).



Figura 1.- Localización de poblaciones de *Artemia* en estudio en territorio mexicano.

### *Diámetro de quistes*

Para obtener el diámetro, se pusieron a hidratar en agua dulce durante 1 hora, 0.2 g de quistes de cada población, hasta obtener el máximo de esfericidad. La medición se hizo con la ayuda de un microscopio (Olympus BX50), con cámara digital y autoanalizador de imágenes. Se midieron 100 quistes de cada población.

### *Diámetro embrión descapsulado*

A los quistes hidratados se les agregó unas gotas de hipoclorito de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_3$ ), para eliminar el corion y bajo la misma técnica, se midió el diámetro del embrión descapsulado.

### *Talla de nauplios*

Para obtener la talla del nauplio, de cada una de las poblaciones, se puso a eclosionar 0.5 g de quistes, en un recipiente de vidrio con 3 L de agua a una salinidad de 40 g/L, temperatura de 24°C y luz constante durante 24 horas. Los nauplios se cosecharon y se anestesiaron en agua saturada de cloroformo. Al azar se tomaron 100 nauplios y se midieron con la ayuda del microscopio anteriormente descrito.

### *Morfometría de adultos (machos y hembras)*

#### *Cultivo de las poblaciones*

Para iniciar este experimento, se tomaron 2.0 g quistes de cada población seleccionada y se pusieron a eclosionar en agua a 40 g/L de salinidad; temperatura de 24°C y luz constante durante 24 horas. Cosechados los nauplios, se pusieron a cultivar en cilindros de plástico con 160 L de agua a 80 g/L de salinidad; en un intervalo de temperatura entre los 20 y 24°C y a una densidad de 50 org/L. Los organismos fueron alimentados con una mezcla de dos microalgas (*Tetraselmis* sp. y *Dunaliella* sp.), en una relación 1:1. Bajo estas condiciones, los organismos se mantuvieron hasta que llegaron al estadio adulto o cuando se cumplieran los 21 días de cultivo.

#### *Colecta de organismos y toma de mediciones*

Pasados los 21 días de cultivo, las poblaciones fueron cosechadas y filtradas por una red de nylon con luz de malla de 2.0 mm de abertura. Cada población se separó por sexo y se seleccionaron 100 individuos al azar. Los organismos se anestesiaron con agua saturada de cloroformo y se procedió a medirlos, considerando las siguientes variables (figura 2):



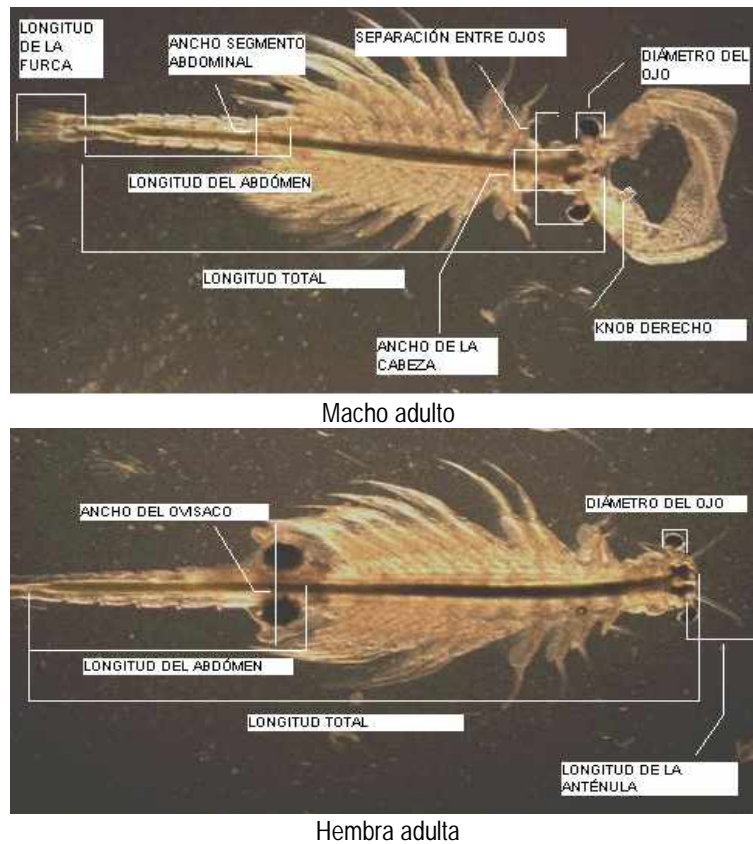


Figura 2. Variables morfométricas de macho y hembra adulta de *Artemia*.

*Para machos adultos*

1. Longitud total (LTOTAL)
2. Longitud del abdomen (LABDOM)
3. Longitud de la furca (LFURCA)
4. Ancho del segmento genital (ASEGGEN)
5. Ancho del abdomen en su tercer segmento (AABDOM)
6. Ancho de la cabeza (ACABEZA)
7. Longitud de la anténula (LANTEN)
8. Diámetro de los ojos (DIAMOJOS)
9. Separación entre los ojos (SEPOJOS)
10. Ancho del knob derecho e izquierdo (KDER; KIZQ)

*Para hembras adultas*

1. Longitud total (LTOTAL)
2. Longitud del abdomen (LABDOM)
3. Longitud de la furca (LFURCA)
4. Ancho del ovisaco en hembras (AOVISACO)
5. Ancho del abdomen en su tercer segmento (ASEGGEN)
6. Ancho de la cabeza (ACABEZA)
7. Longitud de la anténula (LANTEN)
8. Diámetro de los ojos (DIAMOJOS)
9. Separación entre los ojos (SEPOJOS)

Las mediciones (100 por cada variable), se hicieron con la ayuda del microscopio Olympus ya mencionado.

*Análisis estadístico para la biometría de quistes, embriones, nauplios y adultos (macho y hembra)*

1. Se creó la base de datos en Excell 2000 XP, haciendo las siguientes consideraciones:
  - § Para la variable de población en general se consideraron las siguientes abreviaturas: 1) Yavaros (YAV); 2) Ohuira (OHUI); 3) Juchitán (JUCH); 4) Real de las Salinas (R.SAL); 5) Cuatro Ciénegas (C.CIEN); 6) San Luis Potosí (SLP) y 7) Texcoco (TEX).
  - § Se incluyó una variable para denotar el tipo de hábitat: 1) Aguas costeras del Pacífico (YAV; OHUI; JUCH); 2) Aguas Costeras del Golfo (R.SAL) y 3) Aguas interiores (C.CIEN; SLP Y TEX).
  - § Se incluyó una variable para denotar la latitud (dependiendo su localización geográfica): 1) Norte (YAV; OHUI; C.CIEN); 2) Centro (SLP; TEX; R.SAL) y 3) Sur (JUCH).
2. Creada la base de datos general se procedió, con todas las variables morfométricas a la obtención de la media con su desviación estándar.
3. Para determinar diferencias entre las poblaciones en cada una de las variables biométricas consideradas por estadio, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANDEVA) (Tatsuoka, 1970; Kachigan, 1991). Al encontrar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el modelo, se les aplicó la técnica de comparación de medias múltiples por el método de Tukey y así determinar entre cuáles poblaciones ocurren las diferencias. Esto se hizo por cada estadio y sexo.

4. Seguida a la comparación de poblaciones, se realizó la comparación por hábitat y por latitud por medio de la Técnica de Contrastes (Kachigan, 1991).
5. Debido a que en el estadio adulto, tanto machos como hembras, se tuvo un número considerable de variables morfométricas se consideró la posibilidad de reducir su número utilizando la técnica de Componentes Principales para detectar variables redundantes (Tatsuoka, 1970; Kachigan, 1991).
6. Posteriormente, se procedió a realizar un Análisis Discriminante con las variables seleccionadas para la discriminación de las poblaciones, interpretando principalmente por población y relacionándolo tanto con el tipo de hábitat como con la latitud que ocupan (Tatsuoka, 1970; Kachigan, 1991). Para cada análisis discriminante, se aplicó la prueba de consistencia (Jackknifed) para establecer la existencia de organismos influyentes.

Para la prueba de Análisis de Varianza; Contraste; Análisis de Componentes Principales y Análisis Discriminante, se utilizó el paquete estadístico SYSTAT 9.0.

#### *Aislamiento reproductivo entre las poblaciones*

De cada población seleccionada, se utilizaron 2.0 g quistes, los cuales se pusieron a eclosionar en agua a 40 g/L de salinidad, a temperatura de 24°C y luz constante durante 24 horas. Los nauplios obtenidos se colocaron para su cultivo en cilindros de plástico con 160 L de agua a 80 g/L de salinidad, en un rango de temperatura entre los 20°- 24°C y a una densidad de 50 org/L. La alimentación consistió en una mezcla de dos microalgas (*Tetraselmis* sp. y *Dunaliella* sp.), en una relación 1:1.

Estas condiciones se mantuvieron hasta que los organismos llegaron al estadio de preadulto para posteriormente separar a los machos en un frasco de 4 L de capacidad, con 3 L de agua salada bajo las mismas condiciones de cultivo; para las hembras, se tuvo un mayor cuidado, ya que debía de evitarse la presencia de machos en los frascos en donde estas fueran colocadas y así evitar la fecundación previa de una de ellas. Para ello, se separaron 10 hembras por frasco de 1 L de capacidad, con 800 mL de agua salada, también bajo las mismas condiciones de cultivo. Se separaron 10 frascos de hembras.

Para realizar la intercrusa, se pusieron en cada frasco de 250 mL, una hembra de una población y dos machos de otra población, realizando lo mismo para el recíproco. Las cruza que se experimentaron fueron las que se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Experimento de intercrusa entre las poblaciones estudiadas.**

Intercruza		Intercruza	
Hembra	Macho	Hembra	Macho
Yavaros	Ohuira	Cuatro Ciénegas	Yavaros
	Juchitán		Ohuira
	Real de las Salinas		Juchitán
	Cuatro Ciénegas		Real de las Salinas
	San Luis Potosí		San Luis Potosí
	Texcoco		Texcoco
Ohuira	Yavaros	San Luis Potosi	Yavaros
	Juchitán		Ohuira
	Real de las Salinas		Juchitán
	Cuatro Ciénegas		Real de las Salinas
	San Luis Potosí		Cuatro Ciénegas
	Texcoco		Texcoco

Tabla 7. Experimento de intercruza..... (Continuación).

Intercruza		Intercruza	
Hembra	Macho	Hembra	Macho
Juchitán	Yavaros	Texcoco	Yavaros
	Ohuira		Ohuira
	Real de las Salinas		Juchitán
	Cuatro Ciénegas		Real de las Salinas
	San Luis Potosí		Cuatro Ciénegas
	Texcoco		San Luis Potosí
Real de las Salinas	Yavaros		
	Ohuira		
	Juchitán		
	Cuatro Ciénegas		
	San Luis Potosí		
	Texcoco		

Las observaciones en cada cruce fueron diarias, cuando se observaba la presencia de nauplios ( $F_1$ ), éstos se colocaban en frascos de 4 L, con agua a 60 g/L de salinidad; 22 a 24°C de temperatura, luz continua y microalga como alimento, para su crecimiento hasta observar la presencia de  $F_2$ . La información se organizó en tablas.

## RESULTADOS

### *Diámetro de quiste hidratado*

Los promedios del diámetro de quistes hidratados por población se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8. Valor promedio del diámetro de quistes hidratados por población con n =100.**

Población	Diámetro quiste hidratado ( $\mu\text{m}$ )	Error estandar ( $\mu\text{m}$ )
YAV	229.20	$\pm 0.897$
OHUI	266.33	$\pm 0.865$
JUCH	275.52	$\pm 1.307$
R.SAL	249.21	$\pm 0.813$
C.CIEN	231.17	$\pm 0.439$
SLP	292.32	$\pm 1.618$
TEX	230.23	$\pm 0.450$

El promedio de diámetro mayor lo presentó la población de SLP con 292.32  $\mu\text{m}$ , mientras que el valor más pequeño lo tiene la población de YAV con 229.20  $\mu\text{m}$ . YAV es una población de aguas costeras del Pacífico y se encuentra en la zona norte, mientras que SLP se ubica en cuerpos de agua interior y en el centro del país.

El análisis de la varianza (ANDEVA), por población de *Artemia franciscana* estudiada, muestra que existen diferencias entre en los promedios de diámetro de quiste entre las poblaciones (SS=380,500; g.l.=6,693; MS= 63,416.82; F=639.87;  $P < 0.001$ ), con la prueba de Tukey, se puede establecer que solo las poblaciones YAV, C.CIEN. y TEX no presentan diferencias significativas entre ellas (ver Tabla 9; Figura 3).

Tabla 9. Significancia de la prueba de Tukey para la comparación de medias múltiples del diámetro de quiste hidratado (Valor de P).

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV	1.000						
OHUI	0.000	1.000					
JUCH	0.000	0.000	1.000				
R.SAL	0.000	0.000	0.000	1.000			
C.CIEN	<b>0.802</b>	0.000	0.000	0.000	1.000		
SLP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
TEX	<b>0.990</b>	0.000	0.000	0.000	<b>0.994</b>	0.000	1.000

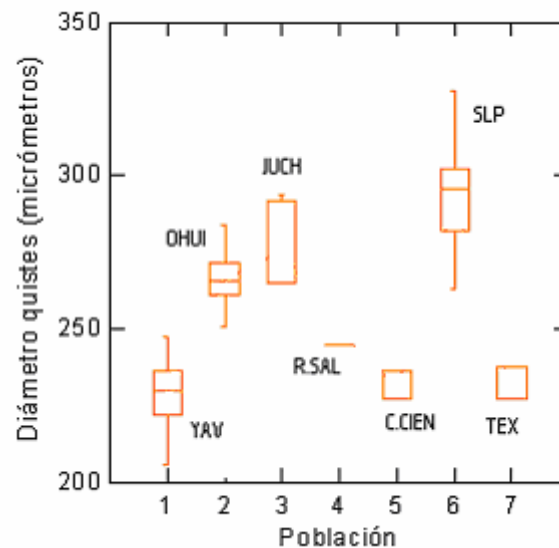


Figura 3. Comparación de la variación del diámetro de quistes hidratados en las poblaciones de *Artemia* estudiadas.

Al realizar el contraste del diámetro de los quistes hidratados por hábitat y latitud (ver tabla 10), los valores nos indican que hay diferencias entre las poblaciones, solamente entre las poblaciones ubicadas por hábitat en el Golfo e Interiores no hay diferencias significativas ( $F=3.11$ ; g.l.=1,693;  $P=0.078$ ) (ver Tabla 10, Figura 4). Cabe destacar que la significancia se encontró entre las poblaciones de aguas interiores con las del Golfo, ya que R.SAL es semejante a C.CIEN y TEX, pero es significativamente diferente de SLP.

**Tabla 10. Comparación del diámetro promedio de quistes hidratados por hábitat y latitud.**

<b>Contraste</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Hábitat		
Pacífico/Golfo	50.44	<0.001
Pacífico/Interiores	46.06	<0.001
Golfo/Interiores	3.11	0.078
Latitud		
Norte/Centro	341.61	<0.001
Norte/Sur	838.51	<0.001
Centro/Sur	252.42	<0.001

Nota: grados de libertad: 1,693

### *Análisis discriminante*

La matriz de clasificación de los valores del diámetro de los quistes se presenta en la tabla 11. Se puede observar que solamente las poblaciones de OHUI, R.SAL y SLP son clasificados correctamente con valores del 80 al 90%. El valor más bajo de clasificación con 0% lo tiene la población de TEX, ya que sus quistes comparten las características morfológicas con las poblaciones de YAV (71%) y C.CIEN (29%). El resto de las poblaciones (YAV, JUCH y C.CIEN), tienen valores bajos de clasificación. El promedio total de clasificación correcta por todas las poblaciones es de solamente 55%. La prueba de consistencia (Jackknifed), no mostró diferencias con este porcentaje de clasificación.



Tabla 11. Matriz de clasificación de los valores del diámetro de los quistes por población.

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX	Valor de clasificación correcto (%)
YAV	53	0	0	20	22	0	5	53
OHUI	0	80	20	0	0	0	0	80
JUCH	0	53	24	5	0	18	0	24
R.SAL	0	0	0	93	7	0	0	93
C.CIEN	57	0	0	0	43	0	0	43
SLP	0	2	5	1	0	92	0	92
TEX	71	0	0	0	29	0	0	0
Total	181	135	49	119	101	110	5	55

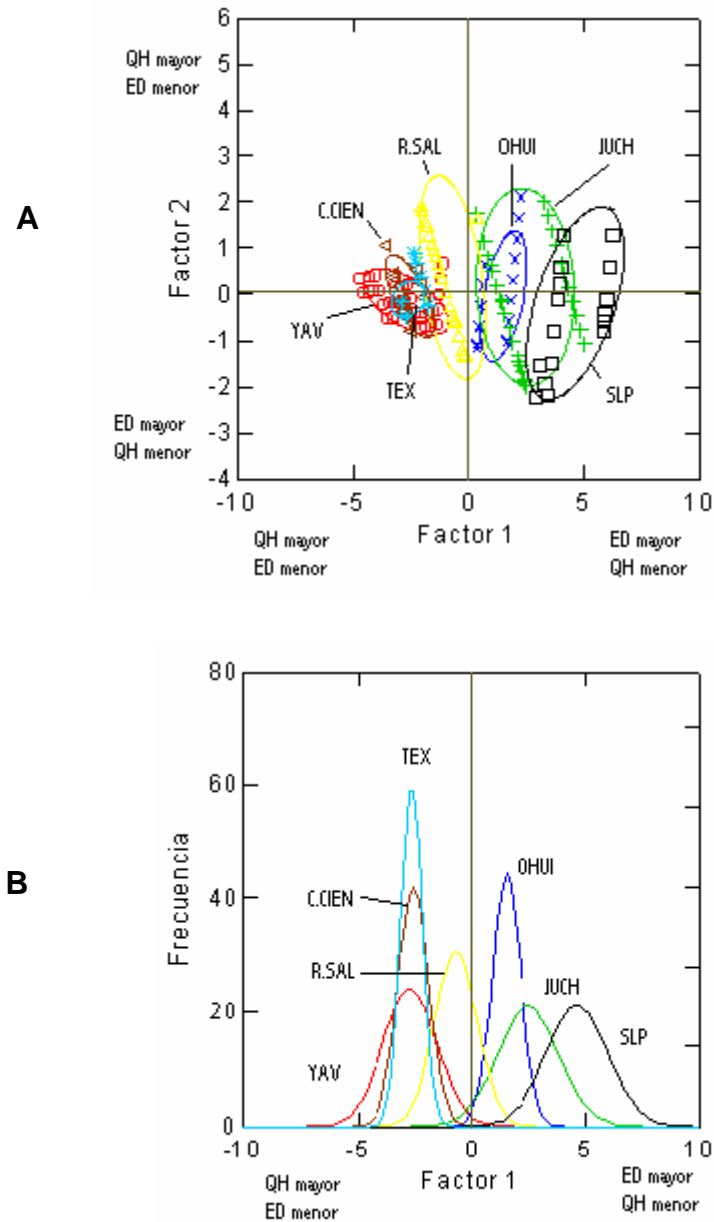
El análisis discriminante indica que el Factor 1 explica el 99.5% de variación; el diámetro del embrión descapsulado resultó ser la variable que aportó mayor poder discriminante (tabla 12).

Tabla 12. Valores de la correlación canónica, función discriminante y significancia de la función del diámetro de quiste hidratado.

	Factor 1	Factor 2
$X^2$	4,602.31; 2gl; P<0.001	24.271; 5gl; P<0.001
Eigen valores	7.360	0.036
Correlación canónica	0.938	0.185
Proporción acumulada	0.995	1.000
Función canónica discriminante		
Quistes hidratados	0.294	1.496
Embrión descapsulado	0.760	-1.321

En la gráfica 2 (A,B), se observa que las poblaciones no son discriminadas por el Factor 2, aunque también resultó significativa (P<0.001), ya que como se mencionó antes en el Factor 1 explica por arriba del 90% la discriminación. En cambio, el Factor 1 permite ver una separación de las poblaciones por dos grupos

principales: 1) aquellas que son discriminadas por un lado por la medida del embrión descapsulado (OHUI, JUCH y SLP) y 2) aquellas que son discriminadas en el lado opuesto, por la misma variable (R.SAL, C.CIEN, YAV y TEX) (Figura 5).



**Figura 5. Análisis discriminante por población del diámetro de quiste hidratado**

Nota: ED (Embrión descapsulado); QH (Quiste hidratado)

*Dímetro de embrión descapsulado*

Los valores promedio del diámetro de los embriones descapsulados por población se presenta en la tabla 13.

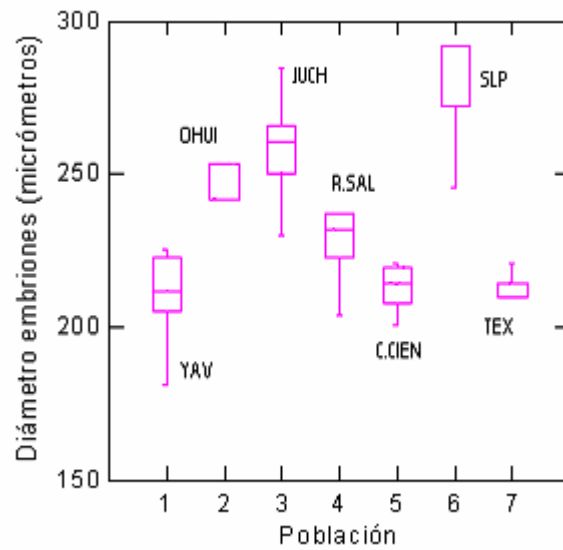
**Tabla No. 13.- Valor promedio del diámetro del embrión descapsulado por población.**

Población	Dímetro de embrión descapsulado ( $\mu\text{m}$ )	Error estandar ( $\mu\text{m}$ )
YAV	211.67	$\pm 1.138$
OHUI	250.50	$\pm 2.505$
JUCH	258.91	$\pm 1.295$
R.SAL	229.26	$\pm 0.987$
C.CIEN	212.87	$\pm 0.702$
SLP	279.47	$\pm 1.140$
TEX	212.37	$\pm 0.428$

El promedio del diámetro mayor lo presentó la población de JUCH con 258.91  $\mu\text{m}$  y el valor menor fue para la población de YAV (211.67  $\mu\text{m}$ ). Al igual que para quistes, el análisis de varianza (ANDEVA), señala diferencias en los promedio del diámetro del embrión descapsulado entre las poblaciones (SS=435,386.23; g.l = 6,693; MS=72,564.37; F=818.72; P<0.001), con la prueba de Tukey se pudo establecer que solo las poblaciones de YAV, C.CIEN y TEX no presentan diferencias significativas (ver Tabla 14 y Figura 6).

**Tabla 14. Significancia de la prueba de Tukey para la comparación de medias múltiples del diámetro del embrión descapsulado (Valor de P).**

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV	1.000						
OHUI	0.000	1.000					
JUCH	0.000	0.000	1.000				
R.SAL	0.000	0.000	0.000	1.000			
C.CIEN	<b>0.973</b>	0.000	0.000	0.000	1.000		
SLP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
TEX	<b>0.999</b>	0.000	0.000	0.000	<b>1.000</b>	0.000	1.000



**Figura 6. Comparación de la variación del diámetro del embrión descapsulado en las poblaciones de *Artemia* estudiadas.**

La comparación del embrión descapsulado por medio de la técnica de contrastes, nos permite establecer que las diferencias por hábitat y latitud son significativas (ver Tabla 15).

**Tabla 15. Comparación del diámetro promedio de embriones descapsulados por hábitat y latitud.**

Contraste	F	P
<b>Hábitat</b>		
Pacífico/Golfo	50.43	<0.001
Pacífico/Interiores	104.29	<0.001
Golfo/Interiores	26.94	<0.001
<b>Latitud</b>		
Norte/Centro	398.86	<0.001
Norte/Sur	972.50	<0.001
Centro/Sur	291.14	<0.001

Nota: grados de libertad = 1,693

La matriz de clasificación por población de esta variable morfométrica, nos señala que cuando menos los valores de clasificación se incrementan, ya que TEX

pasa a un 68% de clasificación, con respecto al 0% que presentó en quistes; las demás poblaciones se clasifican por arriba del 90%, a excepción de R.SAL, pero su valor de clasificación es alto con 80%, en ambos casos comparten las características morfológicas con la población de TEX (Tabla 16). La prueba de consistencia (Jackknifed), no mostró diferencias con este porcentaje de clasificación.

**Tabla 16. Matriz de clasificación de los valores del diámetro del embrión descapsulado por población.**

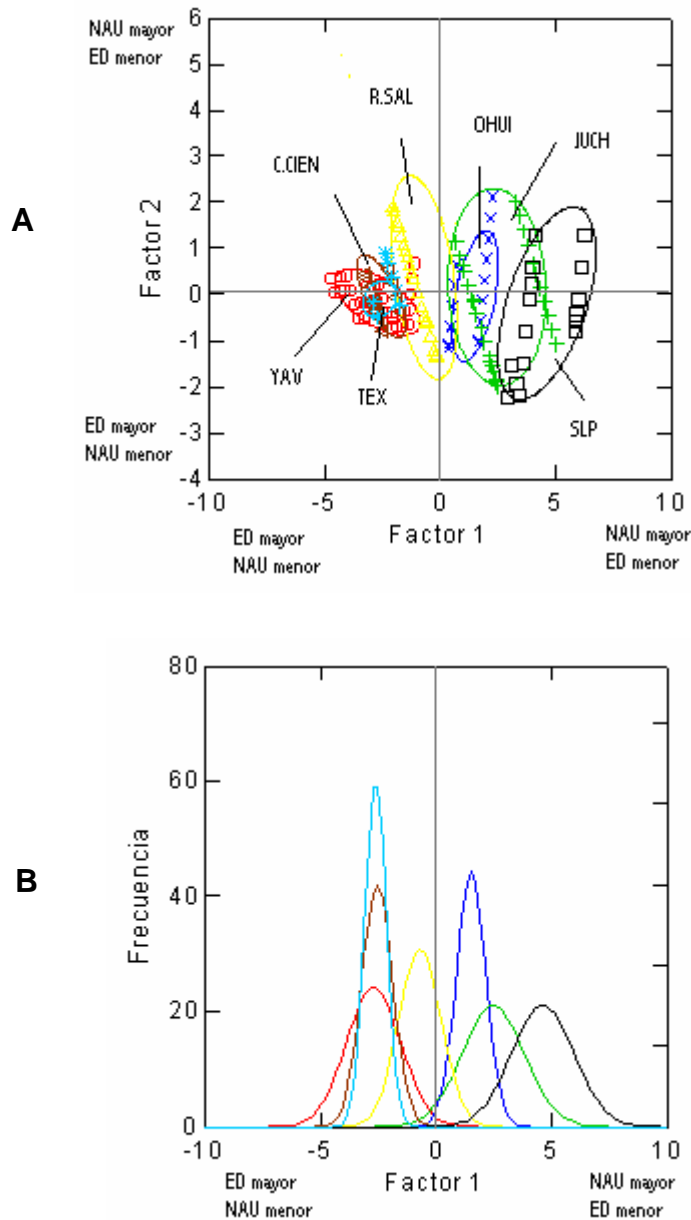
Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX	Valor de clasificación
								correcto (%)
YAV	92	0	0	0	1	0	7	92
OHUI	0	97	3	0	0	0	0	97
JUCH	3	0	97	0	0	0	0	97
R.SAL	1	0	0	80	0	0	19	80
C.CIEN	0	0	0	0	93	0	7	93
SLP	0	3	0	0	0	97	0	97
TEX	16	0	0	7	9	0	68	68
<b>Total</b>	112	100	100	87	103	97	101	89

En la tabla 17 se presentan los valores de correlación canónica, así como el porcentaje acumulado y la función canónica discriminante y su significancia. El Factor 1 explica el 98.4% de la variación y es el diámetro del embrión descapsulado el que resultó ser la variable que aportó mayor poder discriminante, siendo para el Factor 2 la talla del nauplio.

**Tabla 17.- Valores de la correlación canónica, función discriminante y significancia de la función del diámetro de quiste hidratado.**

	Factor 1	Factor 2
$X^2$	4,559.11; 2gl; P<0.001	578. 98; 5gl; P<0.001
Eigen valores	30.307	1.302
Correlación canónica	0.984	0.752
Proporción acumulada	0.959	1.000
Función canónica discriminante		
Embrión descapsulado	-1.793	0.222
Nauplio	1.617	0.807

En la Figura 7 (A,B), se observa dos grupos: uno, formado por las poblaciones OHUI, JUCH y SLP discriminadas por la talla del nauplio; mientras que el otro grupo formado por R.SAL, C.CIEN, YAV y TEX por el diámetro del embrión descapsulado, al considerar el Factor 1. El Factor 2 no discrimina a las poblaciones.



**Figura 7. Análisis discriminante del diámetro del embrión descapsulado.**

Nota: ED (Embrión descapsulado); NAU (nauplio)

Teniendo el dato tanto del diámetro del quiste hidratado, así como del embrión descapsulado, la tabla 18 presenta el valor promedio del grosor del corion por población.

**Tabla 18. Valor promedio del grosor del corion por población.**

Población	Diámetro quiste hidratado ( $\mu\text{m}$ )	Error estandar ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro de embrión descapsulado ( $\mu\text{m}$ )	Error estandar ( $\mu\text{m}$ )	Grosor de corión ( $\mu\text{m}$ )
YAV	229.20	$\pm 0.897$	211.67	$\pm 1.138$	8.76
OHUI	266.33	$\pm 0.865$	250.50	$\pm 2.505$	7.91
JUCH	275.52	$\pm 1.307$	258.91	$\pm 1.295$	8.30
R.SAL	249.21	$\pm 0.813$	229.26	$\pm 0.987$	9.98
C.CIEN	231.17	$\pm 0.439$	212.87	$\pm 0.702$	9.15
SLP	292.32	$\pm 1.618$	279.47	$\pm 1.140$	6.43
TEX	230.23	$\pm 0.450$	212.37	$\pm 0.428$	8.93

La población que presenta el mayor grosor de corion es la de R.SAL con  $9.98 \mu\text{m}$ ; mientras que el valor más pequeño lo presenta la población de SLP con  $6.43 \mu\text{m}$ .

### Talla de nauplios

El promedio de la talla del nauplio de cada una de las poblaciones estudiadas se presenta en la tabla 19.

**Tabla 19. Valor promedio de la talla del nauplio por población.**

Población	Talla del nauplio ( $\mu\text{m}$ )	Error estándar ( $\mu\text{m}$ )
YAV	389.60	$\pm$ 1.530
OHUI	379.70	$\pm$ 1.947
JUCH	450.31	$\pm$ 3.069
R.SAL	465.36	$\pm$ 2.933
C.CIEN	472.41	$\pm$ 2.696
SLP	417.92	$\pm$ 2.330
TEX	422.62	$\pm$ 2.900

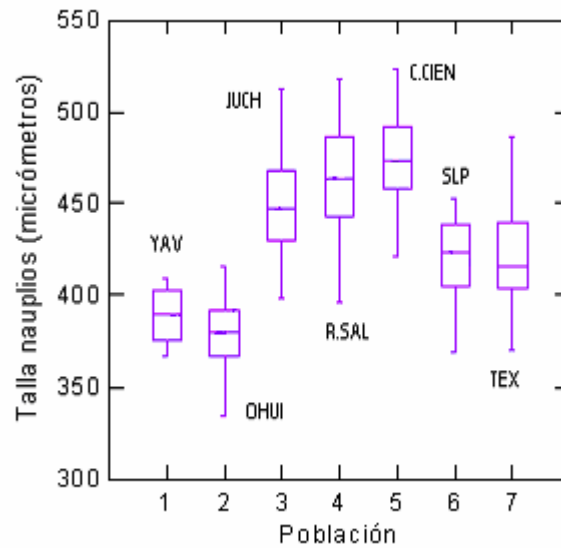
El promedio de la talla del nauplio mayor lo presentó la población de C.CIEN con 472.41  $\mu\text{m}$  y el valor más pequeño es para OHUI con 379.70  $\mu\text{m}$ .

El análisis de varianza para esta variable morfométrica, nos indica que entre las poblaciones existen diferencias significativas (SS=780,389.86; g.l=6,693; MS=130,064.97; F=201.06; P<0.001), con la prueba de Tukey, se pudo establecer que solo las poblaciones que no presentan diferencias fueron: YAV/OHUI, R.SAL/C.CIEN y SLP/TEX (ver Tabla 20 y Figura 8).

**Tabla 20. Significancia de la prueba de Tukey para la comparación de medias múltiples de la talla del nauplio (Valor de P).**

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV	1.000						
OHUI	<b>0.086</b>	1.000					
JUCH	0.000	0.000	1.000				
R.SAL	0.000	0.000	0.000	1.000			
C.CIEN	0.000	0.000	0.000	<b>0.441</b>	1.000		
SLP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
TEX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.849</b>	1.000





**Figura 8. Comparación de la variación de la talla del nauplio en las poblaciones de *Artemia* estudiadas.**

Considerando el hábitat y la latitud por medio de la técnica de contrastes, existen diferencias significativas en ambos casos. Los hábitats son diferentes, así como cuando las poblaciones se clasifican por la posición geográfica en donde se encuentran (Tabla 21).

**Tabla 21. Comparación de la talla de nauplios promedio por hábitat y latitud.**

Contraste	F	P
Hábitat		
Pacífico/Golfo	224.51	<0.001
Pacífico/Interiores	401.26	<0.001
Golfo/Interiores	89.04	<0.001
Latitud		
Norte/Centro	106.19	<0.001
Norte/Sur	153.66	<0.001
Centro/Sur	26.10	<0.001

Nota: grados de libertad = 1,693

En lo que se refiere a la clasificación correcta del análisis discriminante, se observó lo mismo que con los valores del embrión descapsulado. La población de TEX, aunque presenta el valor más bajo (68%) de clasificación, éste se incrementó en relación al valor del diámetro del quiste (0%). Las demás poblaciones se clasifican por arriba del 90%, solo R.SAL se clasifica con el 80% y comparte sus características morfológicas con la población de TEX (Tabla 22). En general, el valor promedio de talla de nauplios se clasifica correctamente en un 89%, al igual que los valores de los embriones. La prueba de consistencia (Jackknifed), no mostró diferencia con este porcentaje de clasificación.

**Tabla 22. Matriz de clasificación de los valores de la talla del nauplio por población.**

Población n	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX	Valor de clasificación
								correcto (%)
YAV	92	0	0	0	1	0	7	92
OHUI	0	97	3	0	0	0	0	97
JUCH	3	0	97	0	0	0	0	97
R.SAL	1	0	0	80	0	0	19	80
C.CIEN	0	0	0	0	93	0	7	93
SLP	0	3	0	0	0	97	0	97
TEX	16	0	0	7	9	0	68	68
<b>Total</b>	112	100	100	87	103	97	101	89

En la tabla 23 se presentan los valores de correlación canónica, así como el porcentaje acumulado y la función canónica discriminante y su significancia.

**Tabla 23. Valores de la correlación canónica, función discriminante y significancia de la función de la talla del nauplio.**

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
$X^2$	4,559.11; 2gl; P<0.001	578. 98; 5gl; P<0.001
Eigen valores	30.307	1.302
Correlación canónica	0.984	0.752
Proporción acumulada	0.959	1.000
Función canónica discriminante		
Embrión descapsulado	-1.793	0.222
Nauplios	1.617	0.807

El análisis discriminante indica que el Factor 1 explica el 98.4% de variación; y es el embrión descapsulado la variable que resultó que aporta el mayor poder discriminante, siendo la variable de talla de nauplios, la que aporta mayor valor para el Factor 2.

En la Figura 9 (A,B), se observa una mayor separación entre las poblaciones, pero aún se forman dos grupos principalmente: uno formado por las poblaciones de R.SAL, C.CIEN, TEX y YAV discriminadas con un valor alto por el embrión descapsulado y el otro grupo formado por JUCH, SLP y OHUI, discriminadas por la talla de los nauplios, de acuerdo al Factor 1 del discriminante. Al considerar el Factor 2, los grupos cambian, ya que ahora el valor de discriminación mayor lo hace la talla del nauplio congregando a las poblaciones de SLP, JUCH, R.SAL y C.CIEN; mientras que las poblaciones de OHUI, YAV y TEX se discriminan en menor grado por el embrión descapsulado.

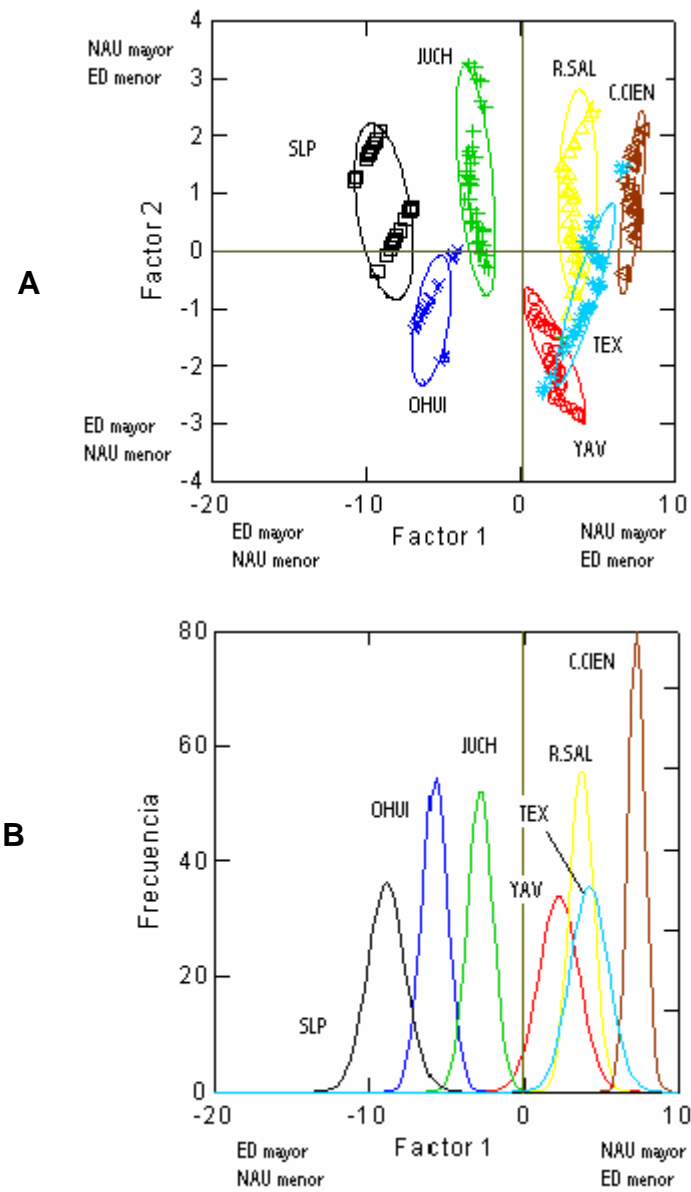


Figura 9. Análisis discriminante por población de la talla del nauplio.

Nota: ED (Embrión descapsulado); NAU (nauplio)

*Morfometría de adultos.*

El análisis de componentes principales para seleccionar las variables a considerar se muestra en la tabla 24. Los valores de los componentes principales muestran que todas las variables, tanto de machos como de hembras, aportan información significativa, por lo que se decidió conservarlas todas para el análisis discriminante.

**Tabla 24. Valor del análisis de componentes principales tanto para hembras como machos adultos.**

Medida morfométrica	Componentes principales	Componentes principales
	hembras	machos
Longitud del abdomen	0.901	1.000
Longitud de la furca	0.744	1.000
Longitud de la anténula	1.000	1.000
Ancho del abdomen	0.888	1.000
Ancho de la cabeza	0.702	1.000
Ancho segmento genital	--	1.000
Ancho del ovisaco	0.963	--
Diámetro de los ojos	0.936	1.000
Separación entre los ojos	0.950	0.937
Knob izquierdo	--	1.000
Knob derecho	--	0.925

Los valores más bajos en este análisis la presenta la longitud de la furca (0.744) y el ancho de la cabeza (0.702) de las hembras. Aún así, los valores son suficientemente altos y por lo tanto no se puede hacer una selección de las variables, por lo que todos deben de ser incluidos en el análisis discriminante.

*Biometría de hembras*

En la tabla 25 se presenta los valores promedio de las diferentes variables consideradas para la morfometría de las hembras adultas.

En esta tabla se puede observar que la población de JUCH presenta en todas las variables consideradas el valor más alto, con respecto a las otras poblaciones; mientras que el valor más bajo no se encuentra en una sola población, sino que se encuentra distribuido de la siguiente manera:

La longitud total; longitud y ancho del abdomen y el ancho del ovisaco lo presenta la población de R.SAL. YAV, presenta el valor más bajo de longitud de furca; OHUI del diámetro de los ojos; SLP el ancho de la cabeza y; TEX con la longitud de las anténulas y la separación entre los ojos.

**Tabla 25. Valor promedio y desviación estandar de las medidas morfométricas de las hembras adultas de las siete poblaciones estudiadas.**

Población	Medida morfométrica								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>YAV</b>	7.093	3.367	0.268	0.617	0.501	1.107	0.525	0.246	1.077
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>OHUI</b>	6.548	3.199	0.281	0.581	0.519	0.950	0.526	0.230	0.995
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>JUCH</b>	9.416	4.673	0.648	0.676	0.617	1.759	0.627	0.302	1.394
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>R.SAL</b>	5.903	2.618	0.353	0.522	0.412	0.827	0.396	0.236	0.868
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>C.CIEN</b>	7.885	3.649	0.490	0.616	0.601	1.592	0.566	0.268	1.243
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>SLP</b>	7.499	3.685	0.344	0.606	0.496	1.186	0.461	0.227	1.114
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016
<b>TEX</b>	6.567	3.159	0.456	0.513	0.424	0.870	0.594	0.220	0.846
ES	± 0.095	± 0.064	± 0.010	± 0.008	± 0.008	± 0.032	± 0.009	± 0.003	± 0.016

Nota: 1=Longitud total; 2=Longitud del abdomen; 3=Longitud de la furca; 4=Longitud de anténula; 5=Ancho del abdomen; 6=Ancho del ovisaco; 7=Ancho de la cabeza; 8=Diámetro de ojos y 9=Separación entre ojos.

El análisis de varianza (ANDEVA), realizado a las variables morfométricas de hembras adultas nos señalan que entre las poblaciones existen diferencias significativas (ver Tabla 26 y Figura 10).

**Tabla 26. Análisis de varianza de las variables morfométricas de hembras adultas de *Artemia*.**

Medida morfométrica	SS	g.l.	MS	F	P
Longitud total	795.13	6,693	132.52	147.23	<0.001
Longitud del abdomen	243.19	6,693	40.53	99.50	<0.001
Longitud de la furca	10.98	6,693	1.83	178.71	<0.001
Longitud de la anténula	1.96	6,693	0.328	49.49	<0.001
Ancho del abdomen	3.70	6,693	0.617	101.85	<0.001
Ancho del ovisaco	78.29	6,693	13.04	123.73	<0.001
Ancho de la cabeza	3.76	6,693	0.627	69.96	<0.001
Diámetro de los ojos	0.503	6,693	0.084	70.57	<0.001
Separación entre ojos	23.28	6,693	3.88	149.21	<0.001

Al realizar la prueba de Tukey a cada una de las variables consideradas para las hembras adultas, se pudo establecer que las poblaciones que no presentaron diferencias significativas, son las siguientes:

1. En cuanto a longitud total, las poblaciones de C.CIEN y SLP (P=0.061) (Gráfica 10A)
2. Para la longitud del abdomen, YAV y OHUI (P=0.513) (Gráfica 10B).
3. En cuanto a la longitud de la furca, YAV/OHUI (P=0.971), R.SAL/SLP (P=0.995) y C.CIEN/TEX (P=0.207) (Gráfica 10C).

4. Para la longitud de la anténula, YAV/SLP (P=0.959), OHUI/SLP (P=0.296), R.SAL/TEX (P=0.990) y C.CIEN/SLP (P=0.979) (Gráfica 10D).
5. Para el ancho del abdomen las poblaciones YAV/OHUI (P=0.635), OHUI/SLP (P=0.371), JUCH/C.CIEN (P=0.744) y R.SAL/TEX (P=0.928) (Gráfica 10E).
6. En cuanto al ancho del ovisaco, YAV/SLP (P=0.613), OHUI/R.SAL (P=0.103), OHUI/TEX (P=0.581) y R.SAL/TEX (Gráfica 10F).
7. En cuanto al ancho de la cabeza, las YAV/OHUI (P=1.000), JUCH/TEX (P=0.169) y C:CIEN/TEX (P=0.357) (Gráfica 10G).
8. Para el diámetro de los ojos, YAV/R.SAL (P=0.416), OHUI/R.SAL (P=0.874), OHUI/SLP (P=0.999), OHUI/TEX (P=0.345), R.SAL/SLP (P=0.576) y SLP/TEX (P=0.678) (Gráfica 10H).
9. Para la separación entre los ojos, YAV/SLP (P=0.651) y R.SAL/TEX (P=0.963) (Gráfica 10I).

Cabe destacar que las poblaciones presentan más semejanzas en las medidas morfométricas que están determinadas genéticamente, como son: Ancho del abdomen; Longitud de la furca; longitud de las anténulas y diámetro de los ojos y en aquellas que la medida está determinada fenotípicamente, presenta más diferencias (longitud total; longitud del abdomen; ancho de la cabeza y separación entre los ojos).



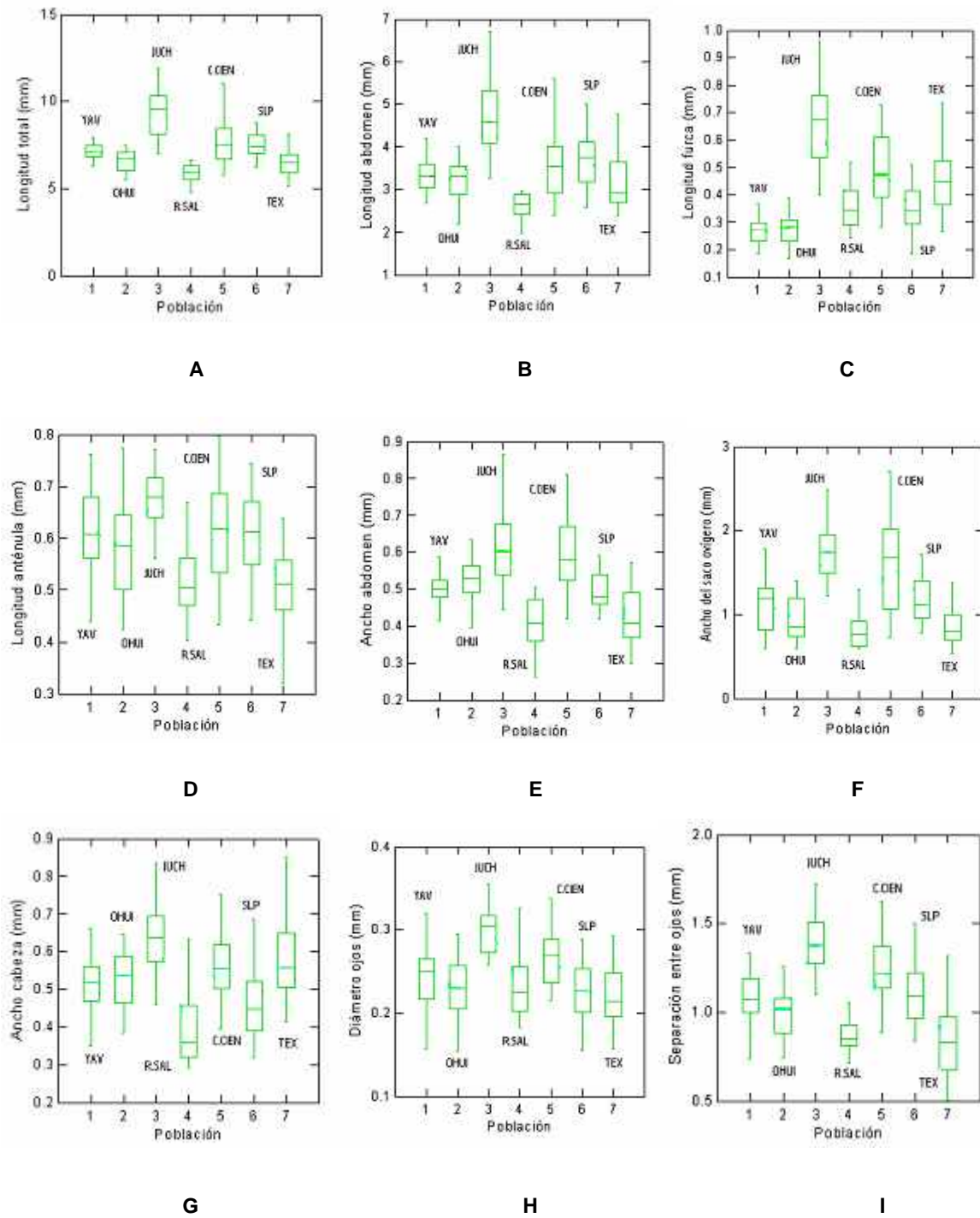


Figura 10. Comparación de la variación de las diferentes medidas morfométricas de hembras adultas.

En lo que se refiere a la comparación morfométrica de las poblaciones considerando al hábitat y a la latitud, todas las variables presentaron diferencias significativas ( $P < 0.001$ ). Cabe destacar que la no diferencia se encontró solamente entre el diámetro de los ojos, cuando las poblaciones se clasifican por tipo de hábitat, entre las poblaciones del Golfo (R.SAL) y Aguas Interiores (C.CIEN, SLP, TEX) ( $P = 0.543$ ) (Tabla 27).

Tabla 27.- Comparación de la medida morfométrica de hembras adultas por hábitat y latitud.

Medida/Contraste	F	P	Medida/Contraste	F	P
<b>L.TOTAL</b>			<b>A.OVISACO</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	22.67	<0.001	Pacífico/Golfo	4.52	0.034
Pacífico/Interiores	264.93	<0.001	Pacífico/Interiores	140.80	<0.001
Golfo/Interiores	166.67	<0.001	Golfo/Interiores	107.36	<0.001
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	44.95	<0.001	Norte/Centro	92.89	<0.001
Norte/Sur	418.23	<0.001	Norte/Sur	209.15	<0.001
Centro/Sur	634.62	<0.001	Centro/Sur	452.72	<0.001
<b>L. ABDOM.</b>			<b>A.CABEZA</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	22.76	<0.001	Pacífico/Golfo	5.99	0.015
Pacífico/Interiores	234.52	<0.001	Pacífico/Interiores	224.23	<0.001
Golfo/Interiores	142.57	<0.001	Golfo/Interiores	175.37	<0.001
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	23.22	<0.001	Norte/Centro	51.26	<0.001
Norte/Sur	296.08	<0.001	Norte/Sur	65.04	<0.001
Centro/Sur	424.97	<0.001	Centro/Sur	172.33	<0.001
<b>L.FURCA</b>			<b>DIAM. OJOS</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	14.41	<0.001	Pacífico/Golfo	54.64	<0.001
Pacífico/Interiores	15.20	<0.001	Pacífico/Interiores	34.05	<0.001
Golfo/Interiores	43.34	<0.001	Golfo/Interiores	0.37	0.543
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	21.48	<0.001	Norte/Centro	51.95	<0.001
Norte/Sur	667.98	<0.001	Norte/Sur	184.66	<0.001
Centro/Sur	509.32	<0.001	Centro/Sur	349.16	<0.001

Nota: grados de libertad = 1,693

Tabla 27.- Comparación de la medida morfométrica... (Continuación).

Medida/Contraste	F	P	Medida/Contraste	F	P
<b>L. ANTEN.</b>			<b>SEP.OJOS</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	48.54	<0.001	Pacífico/Golfo	44.11	<0.001
Pacífico/Interiores	119.58	<0.001	Pacífico/Interiores	237.79	<0.001
Golfo/Interiores	36.10	<0.001	Golfo/Interiores	115.00	<0.001
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	74.69	<0.001	Norte/Centro	151.22	<0.001
Norte/Sur	58.14	<0.001	Norte/Sur	240.82	<0.001
Centro/Sur	188.69	<0.001	Centro/Sur	586.30	<0.001
<b>A.ABDOM.</b>					
Hábitat					
Pacífico/Golfo	36.95	<0.001			
Pacífico/Interiores	221.13	<0.001			
Golfo/Interiores	111.77	<0.001			
Latitud					
Norte/Centro	228.14	<0.001			
Norte/Sur	73.37	<0.001			
Centro/Sur	370.43	<0.001			

Nota: grados de libertad = 1,693

En cuanto a la matriz de clasificación (Tabla 28), los valores de cada población se clasifican correctamente por arriba del 95%, obteniendo un promedio general del 99% de clasificación correcta. Cabe señalar que la población de TEX se clasifica 100% correcto en este estadio, mientras que en quistes fue del 0% y embriones y nauplios del 68%. La prueba de consistencia para la matriz de clasificación (Jackknifed) confirmó o no presentó diferencia alguna.

Tabla 28. Matriz de clasificación de los valores de la biometría de hembras adultas por población.

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX	Valor de clasificación correcto (%)
YAV	96	1	0	0	0	3	0	96
OHUI	0	100	0	0	0	0	0	100
JUCH	0	0	97	0	3	0	0	97
R.SAL	0	0	0	100	0	0	0	100
C.CIEN	0	0	0	1	99	0	0	99
SLP	0	0	0	0	0	100	0	100
TEX	0	0	0	0	0	0	100	100
Total	96	101	97	101	102	103	100	99

En la tabla 29 se presentan los valores de correlación canónica, así como de la función discriminante y su significancia. En esta tabla podemos observar que hasta con el tercer factor se explica el 95% de la información generada por este análisis.

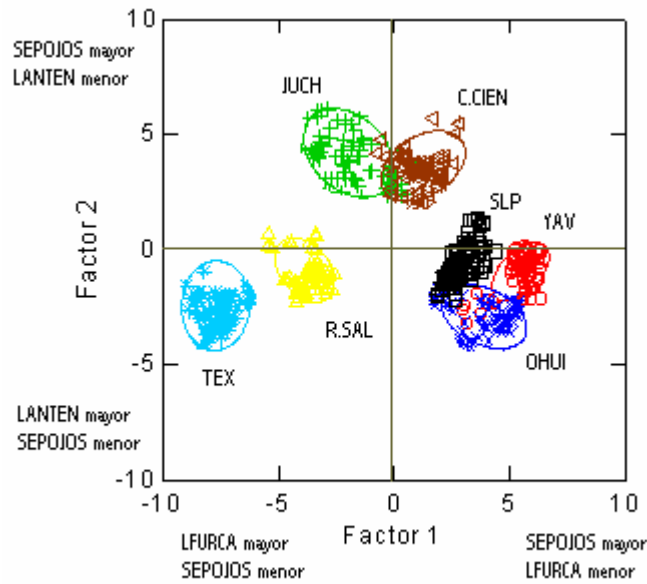
Las variables que tienen mayor poder discriminante para el Factor 1 es la separación entre ojos y la longitud de la furca; para el Factor 2 son la separación de los ojos y la longitud de las anténulas; y para el Factor 3, es la longitud total y el ancho del abdomen.

**Tabla 29. Valores de la correlación canónica, función discriminante y significancia de la función de la morfometría de hembras adultas.**

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>
$X^2$	6,606.44; 54 gl;	4,523.96; 40 gl;	2,629.33; 28 gl;
	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Eigen valores	19.348	6.789	3.681
Correlación canónica	0.975	0.934	0.887
Proporción acumulada	0.617	0.834	0.952
Función canónica discriminante.			
LTOTAL	1.519	2.064	<b>2.882</b>
LABDOM	- 0.530	- 2.806	1.365
LFURCA	<b>- 4.391</b>	- 0.107	- 0.873
LANTEN	- 0.569	<b>- 2.954</b>	0.779
AABDOM	2.017	- 1.052	<b>- 3.504</b>
OVISACO	- 0.448	1.402	- 0.868
DIAMOJOS	0.034	0.931	0.298
SEPOJOS	<b>2.376</b>	<b>2.864</b>	0.085

En la Figura 11 se muestra el análisis discriminante de las variables morfométricas de la hembra adulta, en la que se puede observar que considerando el Factor 1, se forman dos grupos: uno formado por las poblaciones C.CIEN, SLP, YAV y OHUI, las cuales son discriminadas altamente por la separación entre los ojos y en menor proporción por la longitud de la furca; el segundo grupo formado por las poblaciones de JUCH, R.SAL y TEX, que son discriminadas principalmente por la longitud de la furca y en menor proporción por la separación entre los ojos.

Asimismo, en esta Figura 11 se puede observar claramente que las únicas dos poblaciones que se separan completamente de las demás son R.SAL y TEX, ambas poblaciones discriminadas principalmente por la longitud de la furca y además ambas poblaciones colocadas en una latitud Centro; sin embargo, una es de aguas interiores y la otra de Aguas Costeras del Golfo. Esto confirma lo determinado por la técnica de contrastes.

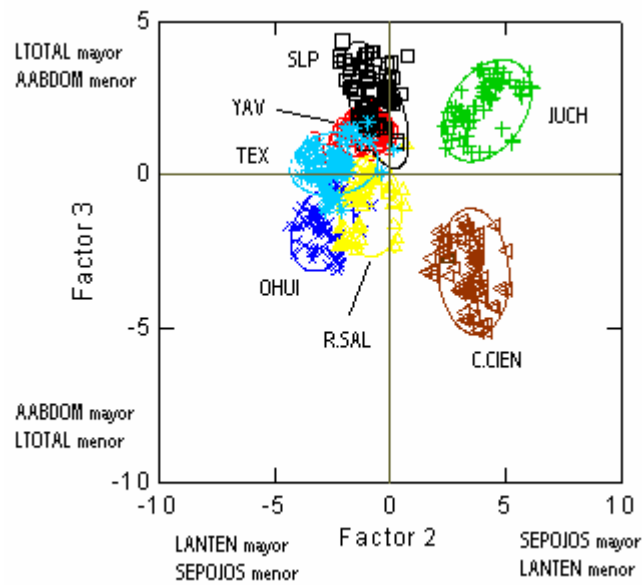


**Figura 11. Análisis discriminante de la biometría de las hembras adultas por población en las funciones 1 y 2**

Nota: SEPOJOS (Separación entre ojos); LANTEN (Longitud de anténulas); LFURCA (Longitud de la furca)

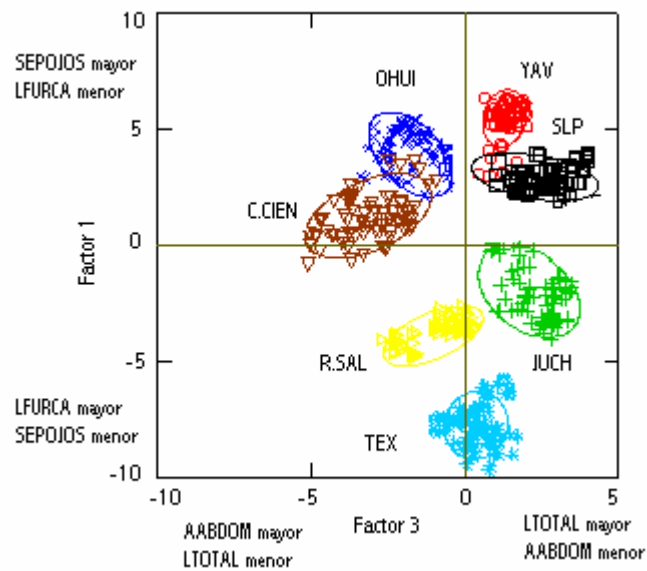
En la Figura 12 se presenta el Factor 2 del análisis discriminante, en el cual se puede observar que las poblaciones que se separan claramente son las de JUCH y C.CIEN, las cuales son discriminadas principalmente por la separación entre los ojos; mientras que las otras poblaciones (SLP, YAV, TEX, OHUI y R.SAL), son discriminadas, principalmente, por la longitud de las anténulas.

Para el Factor 3, YAV, SLP y JUCH son discriminadas principalmente por la longitud total del organismo, mientras que OHUI y R.SAL lo son por el ancho del abdomen. Cabe destacar que la población de TEX, no es discriminada por este factor. R.SAL puede considerarse como población no discriminada o con valores muy bajos de discriminación por el ancho del abdomen (Figura 13).



**Figura 12. Análisis discriminante de la biometría de las hembras adultas por población de la función discriminante 2 y 3.**

Nota: LTOTAL (Longitud total); AABDOM (Ancho del abdomen); LANTEN (Longitud de la anténula); SEPOJOS (Separación entre ojos)



**Figura 13. Análisis discriminante de la biometría de las hembras adultas de la función 1 y 3.**

NOTA: SEPOJOS(Separación entre ojos); LFURCA (Longitud de la furca); AABDOM (Ancho del abdomen); LTOTAL (Longitud total)

*Biometría de machos*

Los promedios de las 11 variables morfométricas consideradas para la biometría de los machos adultos, se presentan en la Tabla 30.

**Tabla 30. Valor promedio y desviación estandar de las medidas morfométricas del macho adulto de las siete poblaciones estudiadas (Datos en mm).**

Población	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>YAV</b>	5.361	2.103	0.253	0.773	0.467	0.586	0.352	0.120	0.131	0.275	1.067
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>OHUI</b>	5.974	2.750	0.309	1.149	0.430	0.590	0.641	0.145	0.152	0.364	1.433
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>JUCH</b>	7.652	3.353	0.388	1.665	0.547	0.698	0.669	0.227	0.217	0.475	1.961
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>R.SAL</b>	5.824	2.766	0.302	1.041	0.369	0.521	0.522	0.161	0.167	0.321	1.342
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>C.CIEN</b>	6.400	2.677	0.345	1.198	0.478	0.595	0.527	0.167	0.172	0.360	1.501
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>SLP</b>	6.252	2.791	0.230	1.094	0.455	0.601	0.511	0.155	0.165	0.319	1.421
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003
<b>TEX</b>	6.454	2.652	0.210	0.880	0.403	0.512	0.567	0.134	0.139	0.278	1.187
ES	± 0.070	± 0.045	± 0.006	± 0.020	± 0.006	± 0.008	± 0.011	± 0.007	± 0.027	± 0.003	± 0.003

Nota: 1=Longitud total; 2=Longitud del abdomen; 3=Longitud de la furca; 4=Longitud de anténula; 5=Ancho del abdomen; 6=Ancho segmento genital; 7=Ancho de la cabeza; 8=Knob izquierdo; 9=Knob derecho; 10=Diámetro de ojos y 11=Separación entre ojos.

Los valores más altos, al igual que los datos de las hembras, se presentan en la población de JUCH. Mientras que los valores más bajos, no se encuentran distribuidos entre las demás poblaciones como sucede con las hembras, sino



solamente en unas cuantas. La población de YAV tiene los valores más bajos en la longitud total; longitud del abdomen; ancho de la cabeza, diámetro y separación entre los ojos; así como el ancho del Knob izquierdo y derecho. R.SAL en la longitud de la anténula y ancho del abdomen y TEX en lo que respecta a la longitud de la furca y ancho del segmento genital.

El análisis de varianza (ANDEVA), realizado a las variables morfométricas de machos adultos nos señalan que existen diferencias significativas en los valores promedio (ver Tabla 31).

**Tabla 31. Análisis de varianza de las variables morfométricas de hembras adultas de *Artemia*.**

Medida morfométrica	SS	g.l.	MS	F	P
Longitud total	307.20	6,693	51.20	105.99	<0.001
Longitud del abdomen	79.51	6,693	13.25	65.35	<0.001
Longitud de la furca	2.44	6,693	0.407	98.45	<0.001
Longitud de la anténula	48.94	6,693	8.157	194.18	<0.001
Ancho del abdomen	1.96	6,693	0.328	80.59	<0.001
Ancho segmento genital	2.24	6,693	0.375	56.18	<0.001
Ancho de la cabeza	6.44	6,693	1.073	86.03	<0.001
Diámetro de los ojos	2.81	6,693	0.469	108.79	<0.001
Separación entre ojos	48.40	6,693	8.068	113.62	<0.001
Knob izquierdo	0.69	6,693	0.116	145.84	<0.001
Knob derecho	0.47	6,693	0.079	92.82	<0.001

Al realizar la prueba de Tukey a cada una de las variables consideradas para los machos, se pudo establecer que las poblaciones que no presentaron diferencias significativas, son las siguientes:

1. Para la longitud total, OHUI/R.SAL (P=0.733); OHUI/SLP (P=0.070); C.CIEN/SLP (P=0.738); C.CIEN/TEX (P=0.988) y SLP/TEX (P=0.377) (Gráfica 14A).

2. Para la longitud del abdomen, es una de las variables en donde la mayoría de las poblaciones no presenta diferencias entre las poblaciones, hasta llegar en una relación de  $P=1.0$  con: OHUI/R.SAL; R.SAL/SLP y C.CIEN/TEX (Figura 14B).
3. En cuanto a la longitud de la furca, YAV/SLP ( $P=0.155$ ); OHUI/R.SAL ( $P=0.987$ ) y SLP/TEX ( $P=0.296$ ) (Figura 14C).
4. En cuanto a la longitud de anténulas, OHUI/C.CIEN ( $P=0.617$ ) y OHUI/SLP ( $P=0.472$ ). Además, R.SAL/SLP de  $P=0.548$  (Figura 14D).
5. Para el ancho del abdomen, YAV/C.CIEN ( $P=0.861$ ); YAV/SLP ( $P=0.828$ ); SLP/C.CIEN ( $P=0.116$ ) (Figura 14E).
6. Para el ancho del segmento genital, YAV/C.CIEN ( $P=0.988$ ); YAV/SLP ( $P=0.876$ ); OHUI/C.CIEN ( $P=1.000$ ); OHUI/SLP ( $P=0.972$ ); R.SAL/TEX ( $P=0.984$ ) y C.CIEN/SLP ( $P=0.999$ ) (Figura 14F).
7. En cuanto a el ancho de la cabeza, OHUI/JUCH ( $P=0.571$ ) y R.SAL con C.CIEN ( $P=1.000$ ), SLP ( $P=0.992$ ) y TEX ( $P=0.065$ ) (Figura 14G).
8. En cuanto a el diámetro de los ojos, YAV/TEX; OHUI/C.CIEN y R.SAL/SLP todas con un valor de  $P=1.000$  (Figura 14H).
9. Para la separación que hay entre los ojos, OHUI/R.SAL ( $P=0.188$ ); OHUI/C.CIEN ( $P=0.553$ ); OHUI/SLP ( $P=1.000$ ); R.SAL/SLP ( $P=0.360$ ) y C.CIEN/SLP ( $P=0.335$ ) (Figura 14I).

10. Para el knob izquierdo, OHUI/SLP ( $P=0.148$ ); OHUI/TEX ( $P=0.092$ ); R.SAL/C.CIEN ( $P=0.791$ ); R.SAL/SLP ( $P=0.711$ ) y para knob derecho, YAV/TEX ( $P=0.456$ ); R.SAL/C.CIEN ( $P=0.892$ ); R.SAL/SLP ( $P=0.995$ ) y C.CIEN/SLP ( $P=0.506$ ) (Figura 14J,K).

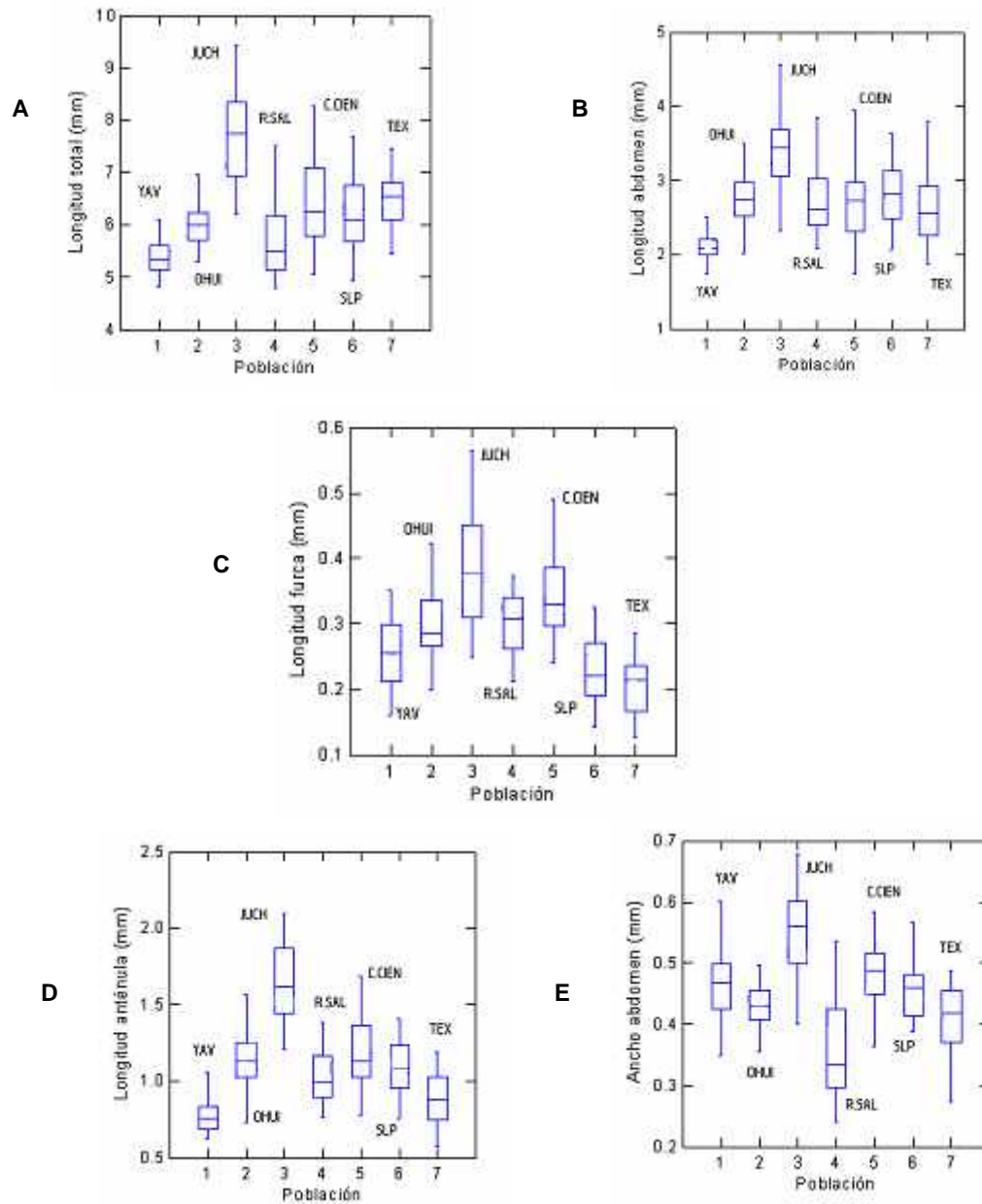


Figura 14. Análisis de varianza de las variables morfométricas del macho adulto.

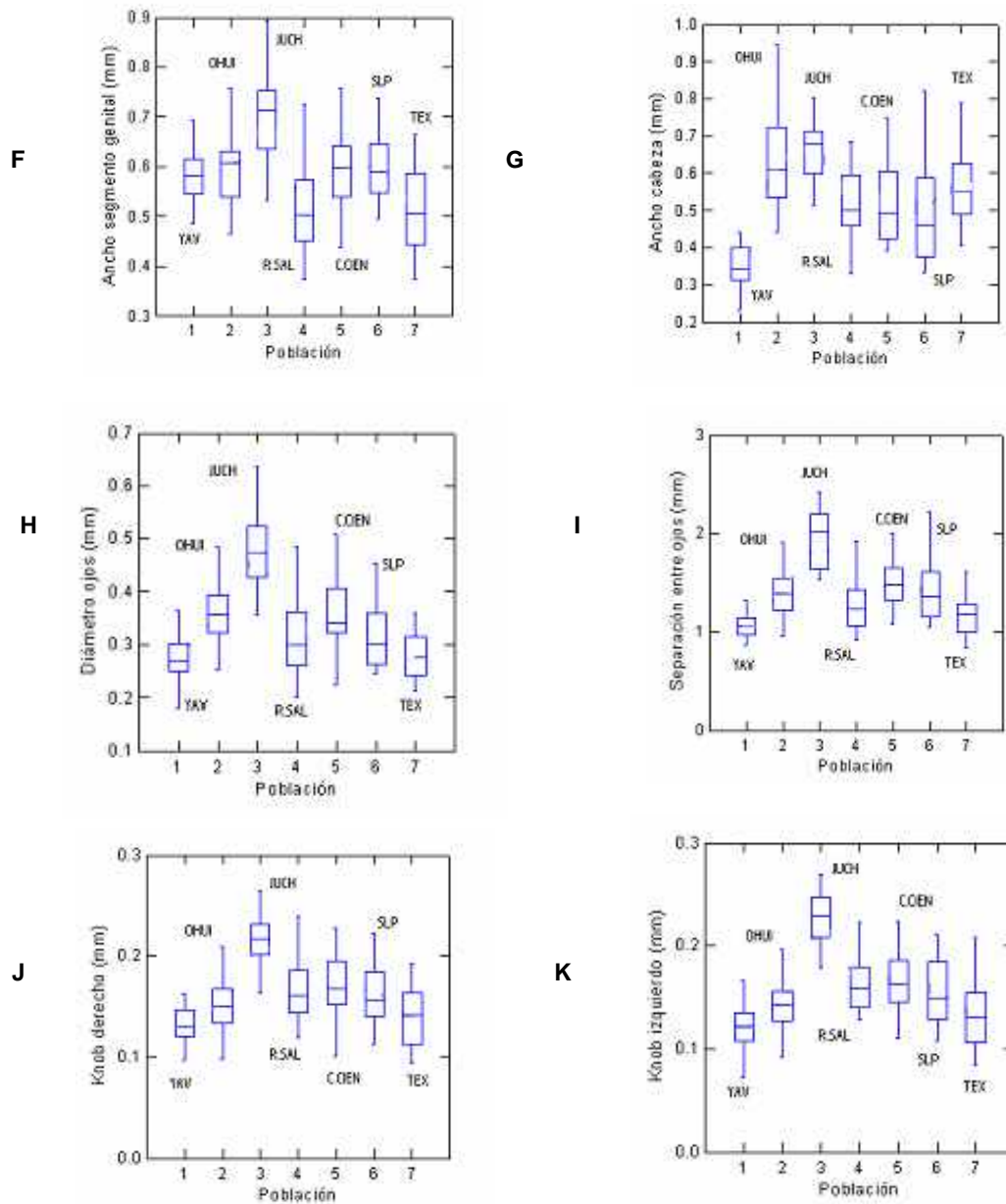


Figura 14. Análisis de varianza de las variables .... (Continuación).

En lo que se refiere a la comparación morfométrica de las poblaciones en relación a su hábitat y latitud por medio de la técnica de contrastes, las poblaciones del macho, al ser clasificados por estas dos variables presenta una mayor semejanza a diferencias de las hembras (Tabla 32).

Tabla 32. Comparación de la medida morfométrica de machos adultos por hábitat y latitud.

Medida/Contraste	F	P	Medida/Contraste	F	P
<b>L.TOTAL</b>			<b>A.CABEZA</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	0.48	0.486	Pacífico/Golfo	4.27	0.039
Pacífico/Interiores	39.52	<0.001	Pacífico/Interiores	6.02	0.014
Golfo/Interiores	45.96	<0.001	Golfo/Interiores	0.98	0.321
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	21.78	<0.001	Norte/Centro	8.78	0.003
Norte/Sur	470.04	<0.001	Norte/Sur	158.71	<0.001
Centro/Sur	337.84	<0.001	Centro/Sur	110.29	<0.001
<b>L. ABDOM.</b>			<b>DIAM. OJOS</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	0.59	0.440	Pacífico/Golfo	94.74	<0.001
Pacífico/Interiores	0.34	0.557	Pacífico/Interiores	43.17	<0.001
Golfo/Interiores	1.28	0.257	Golfo/Interiores	0.09	0.755
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	37.97	<0.001	Norte/Centro	24.47	<0.001
Norte/Sur	262.78	<0.001	Norte/Sur	353.20	<0.001
Centro/Sur	140.49	<0.001	Centro/Sur	496.91	<0.001
<b>L.FURCA</b>			<b>SEP.OJOS</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	110.11	<0.001	Pacífico/Golfo	29.24	<0.001
Pacífico/Interiores	3.96	0.047	Pacífico/Interiores	22.21	<0.001
Golfo/Interiores	29.42	<0.001	Golfo/Interiores	0.79	0.374
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	108.29	<0.001	Norte/Centro	0.63	0.424
Norte/Sur	133.86	<0.001	Norte/Sur	415.06	<0.001
Centro/Sur	359.06	<0.001	Centro/Sur	438.41	<0.001
<b>L. ANTEN.</b>			<b>K.IZQ</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	68.61	<0.001	Pacífico/Golfo	26.46	<0.001
Pacífico/Interiores	42.53	<0.001	Pacífico/Interiores	0.64	0.422
Golfo/Interiores	0.44	<0.001	Golfo/Interiores	8.03	0.005
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	4.41	<0.001	Norte/Centro	7.06	0.008
Norte/Sur	698.34	<0.001	Norte/Sur	641.27	<0.001
Centro/Sur	779.05	<0.001	Centro/Sur	549.63	<0.001

Nota: grados de libertad = 1,693

Tabla No.32.- Comparación de la medida morfométricas de machos (Continuación...).

Medida/Contraste	F	P	Medida/Contraste	F	P
<b>A.ABDOM.</b>			<b>K.DER</b>		
Hábitat			Hábitat		
Pacífico/Golfo	36.95	<0.001	Pacífico/Golfo		0.001
Pacífico/Interiores	221.13	<0.001	Pacífico/Interiores		0.900
Golfo/Interiores	111.77	<0.001	Golfo/Interiores		0.011
Latitud			Latitud		
Norte/Centro	228.14	<0.001	Norte/Centro		0.031
Norte/Sur	73.37	<0.001	Norte/Sur		<0.001
Centro/Sur	370.43	<0.001	Centro/Sur		<0.001
<b>A.SEG.GENITAL</b>					
Hábitat					
Pacífico/Golfo	69.39	<0.001			
Pacífico/Interiores	120.26	<0.001			
Golfo/Interiores	25.77	<0.001			
Latitud					
Norte/Centro	47.28	<0.001			
Norte/Sur	129.57	<0.001			
Centro/Sur	263.91	<0.001			

Nota: grados de libertad = 1,693

En esta tabla se puede observar que las variables: longitud de la furca; ancho del abdomen y ancho del segmento genital, presentan diferencias significativas ( $P < 0.001$ ), tanto en el tipo de hábitat como en la latitud. Para la longitud total las poblaciones del Golfo (R.SAL) presentan semejanzas con las del Pacífico (YAV, OHUI y JUCH) ( $P = 0.486$ ). La longitud del abdomen, clasificado por tipo de hábitat indica que todos los tipos no presentan diferencias significativas, Pacífico/Golfo ( $P = 0.440$ ); Pacífico/Aguas Interiores ( $P = 0.557$ ) y Golfo/Aguas Interiores ( $P = 0.257$ ). Todas las demás presentan diferencias ( $P < 0.001$ ). En cuanto

a la longitud de la anténula ( $P=0.507$ ); ancho de la cabeza ( $P=0.321$ ); diámetro de los ojos ( $P=0.755$ ) y separación entre los ojos ( $P=0.374$ ), no existen diferencias cuando las poblaciones son clasificadas por Golfo/Aguas Interiores. La separación de los ojos presentan diferencias por latitud, cuando se agrupan las poblaciones en el Norte y Centro ( $P=0.424$ ). Las poblaciones que no presentan diferencias semejanzas, cuando estas se agrupan por poblaciones del Pacífico (YAV, OHUI, JUCH) y de Aguas Interiores (C.CIEN, SLP y TEX) con respecto a la variable del knob izquierdo ( $P= 0.422$ ) y el knob derecho ( $P=0.904$ ).

La matriz de clasificación del análisis discriminante, se presenta en la tabla 33. Los valores de la biometría de machos se clasifican en un 100% para cada población.

Tabla 33. Matriz de clasificación de los valores de la biometría de hembras adultas por población.

Población	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX	Valor de clasificación correcto (%)
YAV	100	0	0	0	0	0	0	100
OHUI	0	100	0	0	0	0	0	100
JUCH	0	0	100	0	0	0	0	100
R.SAL	0	0	0	97	3	0	0	97
C.CIEN	0	0	0	0	100	0	0	100
SLP	0	0	0	0	0	100	0	100
TEX	0	0	0	0	0	0	100	100
Total	100	100	100	97	103	100	100	100

En la tabla 34 se presentan los valores de correlación canónica, así como de la función discriminante y su significancia. En esta tabla se observa que el

número de factores que considera el análisis discriminante son cuatro, ya que es en hasta el cuarto factor que se explica el 95% de la información generada por este análisis.

Las variables que tienen mayor poder discriminante para el Factor 1 es el ancho de la cabeza y el knob izquierdo; para el Factor 2 son la longitud total y el ancho del segmento genital; en cuanto al Factor 3, es son la longitud de las anténulas y la longitud del abdomen y para el Factor 4 la longitud total y la longitud de la anténula.

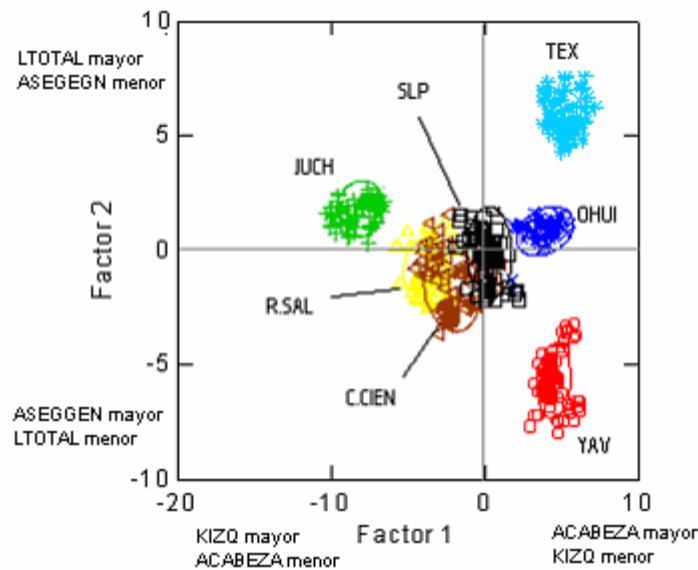
**Tabla 34. Valores de la correlación canónica, función discriminante y significancia de la función de la morfometría de machos adultos.**

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
$X^2$	7,578.13; 66 gl;	5,428.65; 50 gl;	3,737.46; 36 gl;	2,218.20; 24 gl;
	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Eigen valores	21.53	10.60	8.04	4.38
Correlación canónica	0.978	0.956	0.943	0.902
Proporción acumulada	0.456	0.681	0.851	0.944
Función canónica discriminante.				
LTOTAL	0.325	<b>2.655</b>	0.923	<b>3.158</b>
LABDOM	0.970	0.782	<b>-3.301</b>	-1.128
LFURCA	0.071	-1.448	-2.236	0.978
LANTEN	-1.782	1.248	<b>3.386</b>	<b>-2.653</b>
AABDOM	1.717	0.306	1.796	0.493
ASEGGEN	2.013	<b>-2.552</b>	2.069	-1.015
ACABEZA	<b>3.274</b>	1.948	0.804	-0.987
KIZQ	<b>-3.504</b>	0.888	0.877	1.532
KDER	-1.033	-2.471	-2.291	1.515
DIAMOJOS	-0.414	0.566	-1.290	-1.696
SEPOJOS	-1.655	-1.799	-0.642	-0.279

En las Figuras 14, 15 y 16 se muestra el análisis discriminante, considerando el Factor 1 como principal. La Figura 14 señala que las poblaciones de YAV, OHUI y TEX están separadas del resto de las poblaciones por el ancho de la cabeza, mientras que la población de JUCH, que es la otra población que



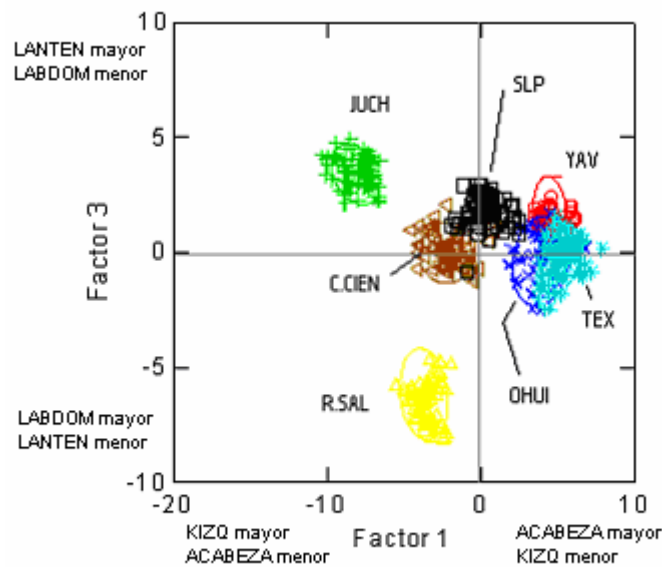
más claramente se separa, es discriminada por el knob izquierdo. Las poblaciones de R.SAL, SLP y C.CIEN no son claramente discriminadas por este factor. Al considerar en esta misma gráfica el Factor 2, las poblaciones de SLP, R.SAL y C.CIEN tampoco son discriminadas; sin embargo, JUCH, TEX y OHUI son discriminadas por la longitud total y YAV por el ancho del segmento genital.



**Figura 14. Análisis discriminante de la biometría de los machos adultos por población en relación con la función 1 y 2.**

Nota: LTOTAL (Longitud total); ASEGGEN (Ancho segmento genital); LANTEN (Longitud anténulas); ACABEZA (Ancho de la cabeza); KIZQ (Knob izquierdo)

En la Figura 15, tomando en cuenta el Factor 1 y Factor 3, las poblaciones de YAV, TEX y OHUI son discriminadas por el ancho de la cabeza, mientras que JUCH, C.CIEN y R.SAL lo son por el knob izquierdo; SLP no es discriminada en esta relación. Al considerar el Factor 3, solo son discriminadas las poblaciones de JUCH y R.SAL, la primera por la longitud de la anténula y la otra por la longitud del abdomen; el resto de las poblaciones no son discriminadas.



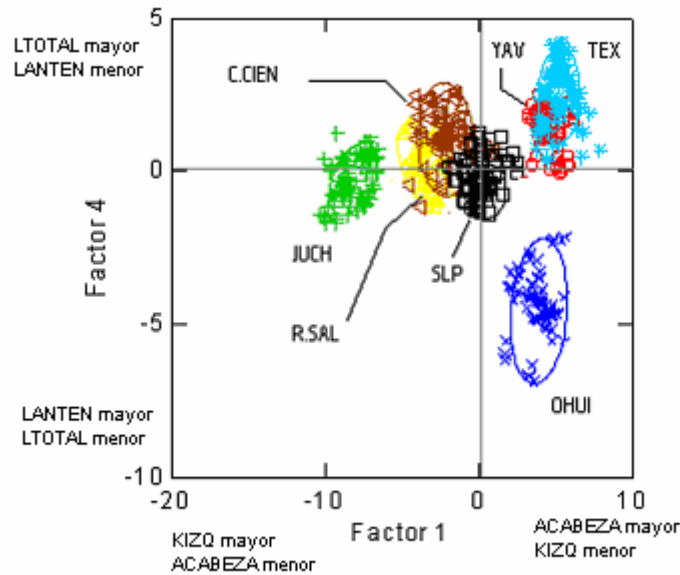
**Figura 15. Análisis discriminante de la biometría de los machos adultos por población en relación a la función 1 y 3.**

Nota: LANTEN (Longitud de la anténula); LABDOM (Longitud del abdomen);  
ACABEZA (Ancho de la cabeza) y KIZQ (Knob izquierdo)

En la Figura 16, se presenta la relación de los Factores 1 y 4 del análisis discriminante realizado a los machos adultos por población, en la cual se puede observar que la población de SLP no es discriminada por ambos factores; además JUCH y R.SAL no son discriminadas por el Factor 4. En el Factor 1 las poblaciones de YAV, TEX y OHUI son discriminadas por el ancho de la cabeza, mientras que C.CIEN, R.SAL y JUCH por el knob izquierdo. Para el Factor 4 las poblaciones de C.CIEN, YAV y TEX son separados por la longitud total, mientras que OHUI es separada por la longitud de la anténula.

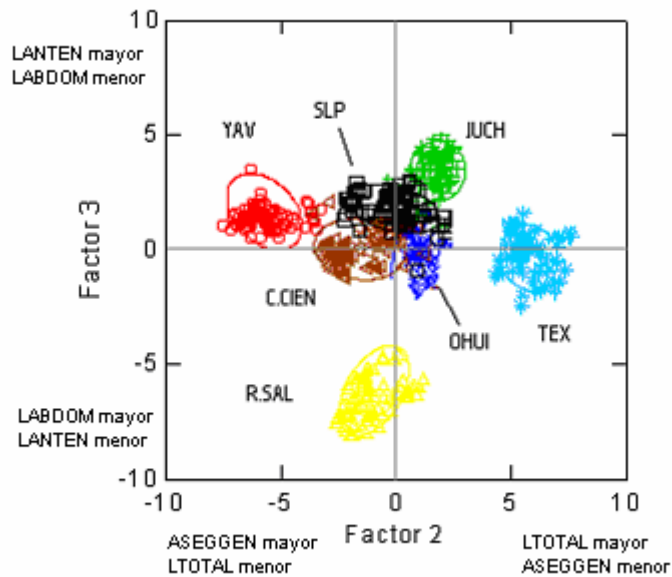
Cuando los Factores 2 y 3 son considerados, las poblaciones discriminadas por el factor 2 presentan las siguientes características: JUCH, TEX se separa por la longitud total, mientras que R.SAL y YAV por el ancho del segmento genital. Las poblaciones SLP, C.CIEN y OHUI no son discriminadas. Para el factor 3 las poblaciones que no son discriminadas son SLP, C.CIEN, OHUI y TEX.; R.SAL es discriminada por la longitud del abdomen, mientras que JUCH y YAV lo son por la

longitud de las anténulas (Figura 17).



**Figura 16. Análisis discriminante de la biometría de los machos adultos por población en relación de la función 1 y 4.**

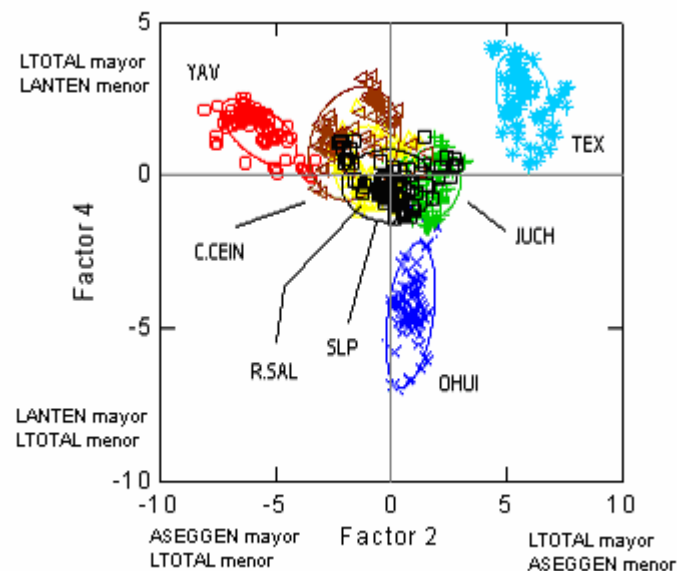
Nota: LTOTAL (Longitud total); LANTEN (Longitud anténula); ACABEZA (Ancho de la cabeza); KIZQ (Knob izquierdo)



**Figura 17. Análisis discriminante de la biometría de los machos adultos por población en relación con la función 2 y 3.**

Nota: LANTEN (Longitud de la anténula); LABDOM (Longitud del abdomen); ASEGGEN (Ancho segmento genital); LTOTAL (Longitud total)

En la Figura 18, la relación con el Factor 2 y Factor 4 nos indica que las poblaciones R.SAL, JUCH y SLP no son discriminadas. En el Factor 2, las poblaciones TEX y OHUI se discriminan por la longitud total, mientras que YAV y C.CIEN lo hacen por el ancho del segmento genital. Para el Factor 4, YAV, C.CIEN y TEX se discriminan por la longitud total; OHUI por la longitud de la anténula.



**Figura 18. Análisis discriminante de la biometría de los machos adultos por población en relación con la función 2 y 4.**

Nota: LTOTAL (Longitud total); LANTEN (Longitud de la anténula);  
ASEGGEN (Ancho segmento genital)

*Aislamiento reproductivo*

En la tabla 35 y 36 se presenta tanto el éxito reproductivo, como la cantidad de nauplios producidos ( $F_1$ ), por cruza entre las poblaciones en estudio. De las 15 cruzas que no tuvieron éxito, se debió a que ni siquiera existió apareamiento entre las parejas formadas.

En la tabla 35 se puede observar que las cruzas que dieron el 100% de éxito fueron: hembra R.SAL/macho JUCH; hembra TEX/macho JUCH; hembra TEX/macho R.SAL; hembra YAV/macho C.CIEN; hembra JUCH/macho C.CIEN; hembra OHUI/macho TEX y por último hembra C.CIEN/macho TEX.

Tabla 35. Éxito reproductivo (%), por cruza, entre las poblaciones mexicanas de *Artemia* ( $F_1$ ).

HEMBRAS	MACHOS						
	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV		80	40	20	100	20	40
OHUI	20		0	0	60	0	100
JUCH	40	0		0	100	0	40
R.SAL	20	0	100		60	0	40
C.CIEN	40	0	80	40		0	100
SLP	0	0	0	0	0		60
TEX	40	20	100	100	60	60	

De las 42 cruzas, solamente siete presentaron éxito reproductivo al 100%; dos cruzas al 80%; cinco al 60%; ocho al 40%; cinco al 20% de éxito y 15 no tuvieron éxito (Figura 19).

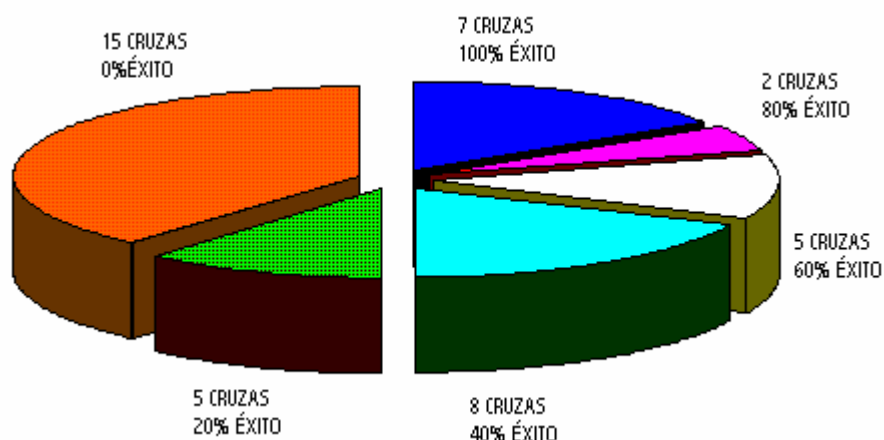


Figura 19.- Éxito reproductivo (F1), en porcentaje, de las cruzas realizadas con las poblaciones.

En las cruzas que si hubo intercuza, la que más nauplios produjo fue la de hembra TEX/macho R.SAL con 445; de las cruzas restantes, solo seis produjeron por arriba de 100 nauplios, encontrándose un intervalo entre 101-170; las otras cruzas produjeron nauplios por debajo de 100, siendo la producción menor la de la hembra de YAV/macho SLP con solamente dos nauplios y la mayor la de la hembra de YAV/macho C.CIEN con 93 nauplios producidos (Tabla 36).

Tabla 36. Total de nauplios producidos por cruce entre las poblaciones mexicanas de *Artemia* (F1).

HEMBRAS	MACHOS						
	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV		84	38	27	93	2	7
OHUI	48		No cruza	No cruza	101	No cruza	120
JUCH	60	No cruza		No cruza	75	No cruza	106
R.SAL	7	No cruza	133		71	No cruza	53
C.CIEN	62	No cruza	102	93		No cruza	170
SLP	No cruza	No cruza	No cruza	No cruza	No cruza		78
TEX	12	No cruza	No cruza	445	27	57	

En cuanto a la F<sub>2</sub>, los híbridos producidos y que alcanzaron la madurez sexual para volver a realizar la cruce, se encontró que disminuyó el número de cruces exitosas, ya que las del 100% bajaron a cuatro; las del 80% bajaron a uno; las de 60% bajaron a cuatro; las de 40% bajaron a cero; las de 20% bajaron a tres y las del 0% aumentaron de 15 a 30 (Tabla 37, Figura 20).

Tabla 37. Éxito reproductivo (%), por cruce, entre las poblaciones mexicanas de *Artemia* (F<sub>2</sub>).

HEMBRAS	MACHOS						
	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV		80	0	20	100	20	0
OHUI	20		0	0	60	0	100
JUCH	0	0		0	100	0	0
R.SAL	0	0	0		0	0	0
C.CIEN	0	0	0	0		0	0
SLP	0	0	0	0	0		60
TEX	0	0	100	0	60	60	

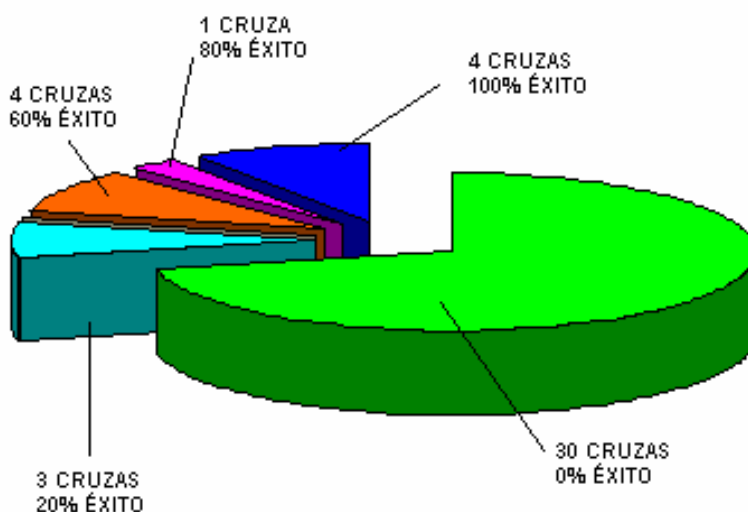


Figura 20. Éxito reproductivo (F<sub>2</sub>), en porcentaje, de las cruces realizadas con las poblaciones

En la tabla 38 se presenta la producción de nauplios, la cual se mantiene alta en la cruce hembra TEX/macho R.SAL, pero la cantidad disminuye significativamente en las otras cruces. Cabe señalar que en este caso, hay cruces que aunque exista el apareamiento, no dan producción de nauplios.

Tabla 38. Total de nauplios producidos por cruce entre las poblaciones mexicanas de *Artemia* (F2).

HEMBRAS	MACHOS						
	YAV	OHUI	JUCH	R.SAL	C.CIEN	SLP	TEX
YAV		148	0	7	92	0	0
OHUI	54		No cruza	No cruza	141	No cruza	140
JUCH	0	No cruza		No cruza	85	No cruza	0
R.SAL	0	No cruza	0		0	No cruza	84
C.CIEN	0	No cruza	0	0		No cruza	0
SLP	No cruza	No cruza	No cruza	No cruza	No cruza		115
TEX	0	0	154	401	60	71	



## DISCUSIÓN

*Diámetro de quiste hidratado, embrión descapsulado y grosor de corion.*

### *Quiste hidratado*

El análisis discriminante que se uso por población mostró que para el diámetro de quiste hidratado se encontraron que las poblaciones estudiadas forman dos grupos principales: uno formado por las poblaciones de TEX, C.CIEN y YAV; otro por y SLP; y la población de R.SAL se separa de las demás. Desafortunadamente, los datos no permiten encontrar un patrón de separación entre hábitat y latitud, ya que en ambos grupos hay poblaciones de aguas costeras y de interiores, así como poblaciones localizadas tanto en el norte, centro y sur del país.

Las quistes de las poblaciones estudiadas presentan un intervalo entre 229.20 y 292.32  $\mu\text{m}$ , siendo una diferencia de 63.12  $\mu\text{m}$  entre el quiste de menor diámetro que corresponden a la población de YAV, ubicada en un hábitat costero en el Pacífico norte y el de mayor valor para la población de SLP, ubicada en un cuerpo de agua interior en el centro del país. Si se tratara de ubicar a los quistes de acuerdo a su diámetro y su ubicación geográfica, se podría ver que poblaciones como C.CIEN (231.17  $\mu\text{m}$ ) y YAV (229.20  $\mu\text{m}$ ) tienen semejanzas, sin embargo, los quistes de TEX (230.23  $\mu\text{m}$ ), también tienen semejanza con estos, pero se ubican en el centro del país, lo cual muestra que no hay patrón definido de separación de las poblaciones por la latitud y por el tipo de hábitat.

Al comparar el diámetro de los quistes de las poblaciones estudiadas en relación con el hábitat o la ubicación geográfica, con otras poblaciones del mundo vemos que no hay un comportamiento que obedezca a estos parámetros; ejemplo de ello es *Artemia tunisiana* (Van Ballaer *et al.*, 1987), que se localiza en regiones

de Europa y Africa, las cuales tienen un diámetro de 235.4 – 258.8  $\mu\text{m}$  que se asemeja a los quistes de R.SAL que tienen un diámetro de 249.21  $\mu\text{m}$ , pero no tienen una ninguna relación con la latitud; ó los quistes de Milos, Grecia, las cuales son poblaciones bisexuales (Castritis y Christodouloupoulou, 1987) y partenogénicas (Abatzopoulos *et al.*, 1989), ambas costeras, las cuales tienen un valor promedio de 263.1 $\mu\text{m}$  y son semejantes con la población de OHUI que tiene un diámetro de 266.33  $\mu\text{m}$ , pero no tienen ninguna relación en cuanto a su ubicación geográfica.

Lo mismo sucede con los quistes de Venezuela (Alvarez y Sánchez, 1994), que tienen un diámetro de 238.14  $\mu\text{m}$  y que se relacionan con los de YAV, que tienen un promedio de 229.20  $\mu\text{m}$ , ambas poblaciones son costeras, pero también caen en los mismos intervalos de las poblaciones de C.CIEN con 231.17  $\mu\text{m}$  y TEX con 230.23  $\mu\text{m}$  que son poblaciones de aguas interiores en México, así como con la población de Yallah, en Jamaica con 238.5  $\mu\text{m}$  (Castro *et al.*, 2000b), que es costera.

Al comparar las poblaciones mexicanas estudiadas de aguas interiores, con otras poblaciones igualmente del mismo hábitat, como por ejemplo los quistes de *Artemia tibetiana* (Abatzopoulos *et al.*, 1998), se observa que los intervalos de esta población sobrepasan a los quistes estudiados, que presentan valores de 323 – 330  $\mu\text{m}$ . Estos mismos autores, señalan que existe la posibilidad de una mezcla de quistes con poblaciones partenogénicas. Otros quistes de aguas interiores son los de *Artemia persimilis* proveniente de diferentes sitios de Argentina (Cohen *et al.*, 1999) y que tienen un diámetro entre 230.3 - 246.1  $\mu\text{m}$ , semejantes con los de C.CIEN y TEX.

En lo que respecta a los quistes de poblaciones chilenas (Zúñiga *et al.*, 1999) y que la mayoría de estas son de aguas interiores con características de

composición de aguas específicas en cada hábitat, los valores se encuentran entre los 220.5 - 254.70  $\mu\text{m}$ ; Amat *et al.* (1994), con las mismas poblaciones indica un intervalo 220.5 - 248.46  $\mu\text{m}$ , en ambos casos, los quistes chilenos son más pequeños que los mexicanos de aguas interiores y aún más con los costeros, en donde la población de YAV que es la que presenta datos más pequeños, el valor promedio es de 229.20  $\mu\text{m}$ .

### *Embrión descapsulado*

Para el diámetro del embrión descapsulado de las poblaciones estudiadas, el intervalo es de 211.67 - 279.47  $\mu\text{m}$ , siendo la variación de 67.8  $\mu\text{m}$ . El análisis discriminante para esta medida, también permite formar los mismos grupos que para el diámetro del quiste hidratado. Cuando se aplica el análisis de contrastes considerando el hábitat y la latitud se observa la ausencia semejanzas entre las poblaciones estudiadas. Cabe señalar que los valores para el embrión presentaron una matriz de clasificación mejor que para los quistes hidratados (valores por arriba del 90%), debido a que no existe una capa de quitina, la cual cambia su grosor dependiendo de las condiciones climáticas del hábitat y por lo tanto la masa celular que queda (embrión), presenta un mismo número de células que están determinadas genéticamente para cada una de las poblaciones.

En este trabajo, los datos de medición son precisos ya que se realizaron con un microscopio con auto analizador de imágenes, de tal manera que se compararon con otros trabajos realizados con las mismas poblaciones y se observaron en algunos, ligeras variaciones, pero en otros si hay diferencias significativas como los datos reportados por Franco (1989) para el diámetro del embrión de la población de C.CIEN con valores de 0.4 mm, siendo una diferencia de 187.13  $\mu\text{m}$ ; con los datos de Castro *et al.* (1997<sub>a</sub>), para la misma población, señalan un diámetro de 221  $\mu\text{m}$ , siendo una diferencia de 8.13  $\mu\text{m}$  y que se debe

a que estos autores no contaban con un microscopio que arrojará mediciones tan precisas como el aparato utilizado para este estudio.

Para la población de Yavaros, Sonora, se da el mismo fenómeno, ya que Correa y Bückle (1993a), señalan que para el embrión un diámetro de 215.86  $\mu\text{m}$ , con una diferencia de 4.19  $\mu\text{m}$ ; mientras que Castro *et al.* (1997c), presentan un valor de 199.2  $\mu\text{m}$  y en este trabajo la medición es de 211.67  $\mu\text{m}$ ; siendo la diferencia de 12.47  $\mu\text{m}$ .

Castro *et al.* (1989) y Castro (1993), señalan que las poblaciones de TEX y SLP presentan valores promedio de diámetro del embrión de 224.8  $\mu\text{m}$  y 231.9  $\mu\text{m}$ , respectivamente y en este estudio el valor promedio del embrión es de 212.37  $\mu\text{m}$  para TEX, siendo una diferencia de 12.43  $\mu\text{m}$  y para SLP 292.32  $\mu\text{m}$  de 279.47, encontrando una diferencia de 60.42  $\mu\text{m}$ .

Las diferencias encontradas, además del instrumento de medición, como ya se mencionó, está lo señalado por D'Agostino (1965) y Claus *et al.* (1977), ambos citados en Vanhaecke y Sorgeloos (1980), que opinan que el embrión descapsulado permanece constante en diferentes poblaciones, pero ellos encuentran diferencias sobre todo cuando se manejan distintos lotes de quistes. Esta diferencia se debe a las condiciones presentes, de salinidad y temperatura, así como del alimento consumido por los adultos, principalmente la hembra, en los momentos previos de la producción del quiste y por lo tanto pueden modificar el diámetro de los mismos.

#### *Grosor de corion*

En cuanto al grosor del corion de las poblaciones mexicanas estudiadas, varía de 6.43  $\mu\text{m}$  (SLP) a 9.98  $\mu\text{m}$  (R.SAL). Para esta medición se forman dos

grupos con valores semejantes; uno con YAV, JUCH y TEX y otro con R.SAL y C.CIEN; las poblaciones de OHUI y SLP se encuentran separadas de estos dos grupos. El aumento en los valores de esta característica, ocasiona que el nauplio necesite mayor cantidad de energía para romper el quiste y eclosionar, por lo que se sugiere que quistes con grosor de corion por arriba de 8-9  $\mu\text{m}$ , sean descapsulados para evitar problemas en la calidad de la eclosión (Vanhaecke y Sorgeloos, 1980).

#### *Talla de nauplios*

Para esta medida morfométrica, el análisis discriminante muestra claramente que las poblaciones se separan unas de otras. La etapa naupliar presenta un par de antenas, las cuales pueden llegar a modificar la forma del nauplio, dependiendo si son más grandes o más pequeñas (Amat, 1980). El análisis discriminante muestra la formación de dos grupos, en ambos casos representados tanto por poblaciones de aguas costeras como de aguas interiores, así como de las tres latitudes consideradas; el análisis de contrastes no muestra diferencia alguna entre hábitat y latitud. Cabe hacer mención, que los valores de la población de TEX se confunden con los de YAV y R.SAL, esto se puede deber a que TEX no es una población natural de México, sino que fue introducida proveniente de la BSF y por consiguiente aún sigue adaptándose a su hábitat.

En el caso del tamaño de nauplio de las poblaciones estudiadas, se agrupan formando tres grupos de dos poblaciones cada uno, YAV y OHUI; R.SAL y C.CIEN y, SLP y TEX. La población de JUCH queda aislada. Al igual que para el embrión descapsulado el análisis de contrastes para la talla del nauplio indica que estos no pueden ser clasificados por hábitat y latitud, ya que en todos los casos se presentan diferencias. Esto se debe principalmente a que los valores de la talla de los nauplios eclosionados a las 24 horas, se clasifican por arriba del 90% y sobre

todo que esta medida está determinada por la cantidad de células que forman al embrión y que está fijada genéticamente (Vanhaecke y Sorgeloos, 1980).

En cuanto a la talla de los nauplios de las poblaciones estudiadas presentan un intervalo de 379.70  $\mu\text{m}$  para la población de YAV, hasta 472.41  $\mu\text{m}$  para la población de C.CIEN y aunque la población de YAV habita en aguas costeras del Pacífico norte, mientras que C.CIEN es de una población de aguas interiores, ambas se localizan al norte del país. Estos dos lugares presentan condiciones extremas en cuanto a temperatura ambiente, pero una gran diferencia es el hábitat, ya que la población de C.CIEN se encuentra en un sitio donde la composición iónica del agua principalmente de fosfato de sodio en lugar de cloruro de sodio como lo es en YAV.

Al comparar la talla del nauplio de las poblaciones mexicanas estudiadas con otras poblaciones del mundo, también bisexuales y de hábitat costero, tenemos por ejemplo: *A. tunisiana* en donde los nauplios tienen valores entre los 422.2 y 482.3  $\mu\text{m}$  (Van Ballaer *et al.*, 1987) y no se observa un patrón de semejanza con las poblaciones costeras de México, sino que tienen más semejanza con las de TEX y C.CIEN, que son de aguas interiores. En lo que respecta a la población costera de Venezuela la talla del nauplio tiene un valor promedio de 438.69  $\mu\text{m}$  (Alvarez y Sánchez, 1994), semejante a la población de JUCH (450.31  $\mu\text{m}$ ), también de hábitat costero; mientras que para el caso del nauplio de Yallahs, Jamaica que tiene una talla de 427  $\mu\text{m}$ , es semejante a TEX (422.62  $\mu\text{m}$ ), que es de aguas interiores y como se mencionó anteriormente es una población introducida de la Bahía de San Francisco, EUA (BSF), que es de aguas costeras.

Con respecto a la talla del nauplio de poblaciones chilenas, Amat *et al.* (1994) y Zúñiga *et al.*, (1999), señalan tallas de 395.50  $\mu\text{m}$  hasta 451.70  $\mu\text{m}$ .

Estos nauplios también están en los intervalos de las poblaciones mexicanas estudiadas de aguas interiores como SLP y TEX.

Con respecto a los nauplios de poblaciones de Argentina, de la especie *A. persimilis*, Cohen *et al.* (1991), mencionan valores entre 406 - 423  $\mu\text{m}$ , datos semejantes solamente con SLP (417.92  $\mu\text{m}$ ) y TEX (422.62  $\mu\text{m}$ ); ambas de aguas interiores.

La importancia de la talla de los nauplios en la acuicultura es en el renglón de la alimentación, ya que dependiendo de la abertura de la boca del consumidor, va a ser la talla del nauplio a utilizar. Léger *et al.* (1986) señalan que la talla máxima del nauplio a utilizar en los primeros estadios de peces y crustáceos es de 500  $\mu\text{m}$  por lo que nauplios con tallas pequeñas, son altamente cotizados para su empleo en esta actividad; este es el caso de los nauplios de BSF y GSL los cuales presentan tallas promedio de 431  $\mu\text{m}$  y 489  $\mu\text{m}$  respectivamente (Castro *et al.*, 1995). A este respecto, las poblaciones mexicanas estudiadas presentan valores promedio por debajo de la población del GSL y con respecto a BSF, las poblaciones de TEX (422.62  $\mu\text{m}$ ), SLP (417.92  $\mu\text{m}$ ), YAV (389.60  $\mu\text{m}$ ) y OHUI (379.70  $\mu\text{m}$ ) tienen menores tallas, por lo que estas poblaciones son recomendables para su uso en la larvicultura y por consiguiente de ser consideradas como proyectos viables para su cultivo de forma semiintensiva en los lugares naturales en donde se encuentran dichas poblaciones.

#### *Morfometría de adultos*

Las mediciones de los adultos tienen mayor uniformidad, ya que sus estructuras han llegado a formarse, en condiciones de cultivo, sin ningún factor adverso para su desarrollo, por lo que este estará determinado, bajo la condición genética de cada población. Esto se ha visto en los estudios morfométricos con adultos de

*Artemia* realizados por Pilla (1992) y Pilla y Beardmore (1994). Triantaphyllidis *et al.* (1997a), los cuales consideran que son las medidas del macho, las que caracterizan mejor a las poblaciones bisexuales, mientras que las hembras lo hacen con las poblaciones partenogénicas (Triantaphyllidis *et al.*, 1995). En este estudio se consideraron ambas mediciones, ya que no se tiene ningún antecedente de comparación de organismos por población y sexo; además el análisis de componentes principales mostró que todas las medidas, para ambos casos, deben ser consideradas para el análisis discriminante, ya que todas tienen un peso específico en dicho método.

### *Hembras*

El análisis discriminante (considerando que el factor 1 explica en más del 90%), muestra que para las hembras las poblaciones más semejantes son SLP, YAV y OHUI; SLP es población de aguas interiores, mientras que YAV y OHUI, son poblaciones de aguas costeras del Pacífico norte, pero además estas últimas dos poblaciones se encuentran geográficamente cerca. Las poblaciones de C.CIEN, JUCH, R.SAL y TEX están morfométricamente separadas de las otras tres poblaciones y aún entre ellas; C.CIEN y TEX son de hábitat de aguas interiores; JUCH y R.SAL de aguas costeras solo que una es del Pacífico y la otra del Golfo.

La hembra que presentó menor longitud total fue la de TEX (6.56 mm), mientras que la de mayor tamaño fue C.CIEN (7.88 mm). Ambas poblaciones habitan aguas interiores hipersalinas, cuya composición iónica, además del cloruro de sodio, es otro componente; como en TEX que son aguas carbonatadas (Castro, 1993); C.CIEN con aguas fosfatadas (Castro *et al.*, 1997a) y SLP con aguas que contienen altas concentraciones de fierro (datos preliminares). Esta composición iónica diferente al agua de mar, ha provocado en estos hábitat características específicas, con las cuales han tenido los organismos que adaptarse para



sobrevivir y por lo tanto han producido un tipo de aislamiento ecológico, como lo señalan Bowen *et al.* (1985), dando como resultado diferencias morfológicas en las poblaciones, también señalados por Hontoria y Amat (1992).

Una estructura que hay que considerar importante, es el ancho del ovisaco, ya que de esta depende la cantidad de huevos que son capaces de almacenar las hembras. Un ovisaco más amplio podrá retener más huevos que podrán ser fecundados, aunque Barrigozi (1974), menciona que para diferenciar a las poblaciones es más importante considerar la forma del ovisaco que su ancho.

El ovisaco más amplio lo presenta la hembra de JUCH (1.759 mm), que es una población de ambiente costero, seguido por las poblaciones de C.CIEN (1.592 mm) y SLP (1.186 mm) que son de aguas interiores. El valor más pequeño es para la hembra de R.SAL (0.827 mm) que proviene de un hábitat costero del Golfo de México. Amat (1980), hace la mención que el ovisaco se encuentra en constante crecimiento a partir de la etapa juvenil y este es más evidente cuando se da el primer periodo reproductivo, decreciendo en los siguientes periodos; es por esto que la medición de esta estructura debe hacerse, bajo estos dos criterios: 1) antes de la primera fecundación y por lo tanto evitar que los organismos se crucen ó 2) realizar una primera cruce y posteriormente medirlos. Esta decisión debe de ser tomada por el investigador.

Al comparar las hembras por población, hábitat y latitud todas las medidas presentaron diferencias, a excepción del diámetro de los ojos, que esta determinada genéticamente para cada especie.

### *Machos*

El análisis discriminante para los machos (considerando al factor 1), los cuales presentan medidas más uniformes, las poblaciones de SLP, OHUI, R.SAL y

C.CIEN tienen semejanzas; no así las poblaciones de TEX, YAV y JUCH, que se encuentran totalmente separadas del resto de las poblaciones. Cabe destacar que los machos de YAV y OHUI aunque son poblaciones que habitan geográficamente muy cerca son totalmente distintos morfométricamente y esto no es otra cosa que las condiciones, tanto físicas como químicas del hábitat, las cuales juegan un papel importante en la morfometría de *Artemia*.

En cuanto a los machos, las poblaciones de aguas interiores (C.CIEN, SLP y TEX), presentaron una longitud total uniforme (6.25-6.45 mm), lo mismo que las de aguas costeras (YAV, OHUI y R.SAL) con un intervalo de 5.36-5.97 mm, siendo JUCH la que presenta los valores más altos (7.65 mm). En el caso de los machos, es importante considerar la longitud del abdomen, ya que es la estructura que se curva para introducir uno de los penes localizados entre los tres primeros segmentos abdominales; mientras más grande sea el abdomen no presentará ningún problema para realizar la fecundación de los huevos en la hembra.

De las siete poblaciones estudiadas, en seis de ellas, los machos presentan un intervalo de longitud del abdomen similar (2.10-2.75 mm), los únicos que sobresalen son los machos de JUCH con 3.35 mm, los cuales tuvieron mayor éxito reproductivo en las cruces; los machos con menor éxito, fueron los de YAV, los cuales tienen la longitud más pequeña de esta estructura (2.10 mm). El tamaño del abdomen es el carácter que más varía en *Artemia*, esto también es señalado por Gilchrist (1960) y Amat (1980), los cuales mencionan que la variación es más evidente en las hembras.

Al comparar los datos morfométricos tanto de hembras y machos de las poblaciones mexicanas estudiadas, con los de BSF y GSL de EUA, por ejemplo, se observa que hay una diferencia de más de 1.0 mm ya que SFB mide en promedio 8.75 mm y GSL, 9.22 mm; es por esto que cuando se cruzan *Artemia* de México con estas dos poblaciones, se incrementa la producción de huevos y

nauplios, debido a que el macho de SFB y GSL es más grande y por consiguiente la fecundación de la hembra mexicana tiene más éxito, como así lo comprobaron Castro *et al.* (1989) con la población de Las Salinas, SLP; Correa *et al.* (1993), con *Artemia* de Baja California; Espinosa *et al.*, (1995), con una población cubana y Castro *et al.*, (1999) con YAV.

Al comparar la longitud total de las poblaciones mexicanas estudiadas, tanto hembras como machos, con respecto a la población partenogenética como la *Artemia urmiana*, que en algunos casos su longitud total alcanza hasta 12.37 mm (Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sub>a,b</sub>) y la de China que mide 12.0 mm, se observa que las poblaciones bisexuales mexicanas en condiciones naturales, nunca alcanzarán tallas tan grandes; esta diferencia se debe principalmente al nivel de ploidia que presenta la especie partenogenética, ya que estas a diferencia de las bisexuales (diploides), tienen organismos con tetraploidia y hasta pentaploidia, lo cual se ha visto que afecta la morfología del mismo (Amat, 1980; Hontoria y Amat, 1992; Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sub>a,b</sub>); también la ploidia presenta ventajas para la adaptación de las poblaciones a diferentes condiciones ambientales (Triantaphyllidis *et al.*, 1994). Triantaphyllidis *et al.* (1997<sub>a,b</sub>), mencionan que poblaciones geográficamente aisladas o separadas, aunque compartan el mismo nivel de ploidia, no necesariamente deben presentar patrones morfométricos similares, ya que estos se encuentran influenciados por la composición iónica del hábitat (Bowen *et al.*, 1985), aunque Triantaphyllidis *et al.* (1997<sub>a,b</sub>), señalan que es probable que el nivel de ploidia dictamine patrones morfológicos en poblaciones que se encuentran geográficamente cercanas. Otra posición es la de Browne y Bowen (1991), quienes mencionan que se pueden dar barreras genéticas entre poblaciones que presentan aún la misma composición iónica en el medio, pero que se encuentran aisladas geográficamente.

En lo que respecta a la comparación con poblaciones sudamericanas, estas presentan valores mayores de longitud total. Gajardo *et al.* (1998) y Zúñiga *et al.*

(1999), señalan que las poblaciones chilenas tienen valores entre 8.8 – 10.4 mm; Cohen *et al.* (1999), describe a las poblaciones de Argentina que son *Artemia persimilis* con valores de 11.0 y 11.3 mm de longitud total.

Correa (1991) y Correa *et al.* (1993a), mencionan que las diferencias morfométricas marcadas, que se dan entre las poblaciones de una misma especie, se deben a la evolución en las características específicas de desarrollo, las cuales son marcadas por el hábitat y se manifiestan en rasgos biométricos distintos para cada población y fijadas, inclusive a nivel genético, por lo que se pueden observar diferencias morfométrica y morfológicas entre especies y/o poblaciones que habitan en lugares talasohalinos y atalsohalinos (Hontoria y Amat, 1992) y por consiguiente la composición iónica de cada hábitat en particular puede producir un aislamiento ecológico, resultando en diferencias morfológicas entre los adultos de las poblaciones (Triantaphyllidis *et al.*, 1997<sub>a,b</sub>). Este aislamiento ecológico difiere en la tolerancia que presentan las poblaciones a características del ambiente como son: la composición iónica del agua, la salinidad, la temperatura ambiente, la historia de vida de los organismos, así como su adaptación a ellos (Browne y Bowen, 1991; Gajardo *et al.*, 1995).

Cohen *et al.* (1999), señalan que se debe de tomar en cuenta la composición iónica de los hábitat cuando se hacen estudios morfométricos de poblaciones de aguas interiores, ya que al cultivarlas en el laboratorio, ya sea utilizando agua de mar costera o agua con sal marina preparada, puede ocasionar problemas en el desarrollo de los organismos, ya que estos se encuentran adaptados a cierta concentración de un ión específico.

Por esto hay que considerar que las diferencias morfológicas, dadas en condiciones de laboratorio, solo proveen de resultados complementarios que deben ser considerados y ser añadidos o relacionados a otros estudios como de entrecruzamiento y genéticos (Abreu-Grobois, 1987).

### *Aislamiento reproductivo*

En cuanto al entrecruzamiento de poblaciones solamente siete cruzas de 42 realizadas, tuvieron éxito al 100%, el cual se puede deber a que el macho tenía casi la misma talla que la hembra o era un poco más grande; en los demás casos, el éxito disminuye de acuerdo a la diferencia que se muestra en la longitud del macho con respecto al de la hembra y sobre todo en relación a la longitud del abdomen.

En este estudio se confirma lo encontrado por Gallardo y Castro (1987) en cuanto a la crusa de las poblaciones de YAV y TEX, ya que en ambas cruzas solamente se obtuvo el 30% de éxito reproductivo, muy semejante al de este trabajo que fue de 40%. Lo mismo sucede con lo encontrado por Castro *et al.* (1989), con la crusa SLP/TEX en donde el éxito reproductivo no fue mayor del 60%, mientras que para la crusa SLP/YAV fue de 40-60%, mientras que en este estudio y con la misma crusa, solo se alcanzó el 20%.

Cabe señalar que existen problemas de entrecruzamiento entre las poblaciones mexicanas estudiadas, principalmente en las cruzas realizadas con SLP y OHUI, ya que solamente estas dos poblaciones se cruzan con YAV y TEX. Este es un problema precopulatorio, existente en estas dos poblaciones, ya que ni siquiera se realizó el apareamiento de las parejas.

Es importante señalar que solo las poblaciones de *Artemia* de aguas interiores no tienen problemas de entrecruzamiento entre si, aunque la crusa macho C.CIEN y hembra SLP no presenta apareamiento.

Al comparar los datos obtenidos de cruzas con datos de otras poblaciones de *Artemia*, se observa que poblaciones chilenas tienen un éxito reproductivo al 100% (Gajardo *et al.*, 1998). Esto se debe a que la longitud total promedio, se

mantiene en un intervalo de 8.8-10.0 mm tanto para hembras como para machos (Zúñiga *et al.*, 1999). Pero hay que ser cuidadosos con este tipo de experimentos de cruza ya que Triantaphyllidis *et al.* (1994), mencionan que Cai (1989) concluye que la población de *Artemia* de Yuncheng, provincia de Shanxi, China después de haber realizado estudios de intercrusa con *A. franciscana*, *A. tunisiana* y *A. persimilis*, y por diferencias en la morfometría, propone designar una especie nueva: *Artemia sinica*, pero Zhang y Liu (1989) al hacer la crusa con otras poblaciones bisexuales y que dieron descendencia fértil, especialmente con *A. urmiana*, no validan el nuevo nombre a esta especie. Esta diferencia se debe a que en el laboratorio se pueden romper las barreras de postcruza que si se dan en la naturaleza y por lo tanto permite el intercambio de flujo genético en las poblaciones. Este es el caso de la población mexicana de Cuatro Ciénegas, Coahuila, la cual habita en aguas interiores cuyo componente principal es el fosfato de sodio, pero en laboratorio esta especie puede ser cultivada en cloruro de sodio y así presentar cruza exitosas con las demás poblaciones y presentar descendencia fértil.

Otro aspecto que se ha considerado, es el tamaño del hábitat en donde se encuentra *Artemia* presentes en la naturaleza. Naihong *et al.* (2000), señalan que el tamaño que tienen los hábitat en donde vive *Artemia*, puede llegar a ser un factor importante para la diferenciación genética de las poblaciones, ya que ellos encontraron que con poblaciones chinas, aquellas que viven en grandes lagos (3.5 – 64 Km<sup>2</sup>) y volúmenes de agua entre 2.4 – 39 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, con densidades de organismos >10<sup>9</sup> se reduce considerablemente el impacto de la velocidad a la cual se diferencian las poblaciones a través de la deriva genética, así como a la no fácil propagación del flujo génico que puede darse entre ellas.

El género *Artemia* está considerado como un complejo formado por varias especies y subespecies definido bajo el criterio de aislamiento reproductivo (Browne y Bowen (1991); pero Amat (1980), Hontoria y Amat (1992), Pilla (1992),

Triantaphyllidis *et al.* (1995), consideran que el género *Artemia* es un complejo de especies “hermanas” que presentan diferencias morfológicas. Gajardo *et al.* (1998), mencionan que Coiné (1992), señala que uno de los grandes problemas de la Biología es el proceso continuo de evolución que constantemente está formando grupos continuos morfológicos, conocidos como especies, pero de acuerdo al concepto biológico de especie de Mayr (1969), estos grupos morfológicos pueden ser una consecuencia del aislamiento reproductivo, el cual separa a los miembros de diferentes especies de acuerdo a la selección natural y deriva génica. Las barreras geográficas o físicas entre poblaciones dan como consecuencia un aislamiento reproductivo producido por las diferencias genéticas acumuladas a través del tiempo (especiación alopátrica) (Browne y Bowen, 1991).

Varios estudios de especiación indican que el primer objetivo de la selección natural en este género de *Artemia*, es la diferencia morfológica que se da entre las poblaciones, sin importar a la especie a la que pertenece (Gajardo *et al.*, 1998). Estas diferencias entre las poblaciones de diferentes localidades pueden ser interpretadas como el resultado de la adaptación a diferentes condiciones ambientales, ya que individuos con patrones reproductivos dispuestos a una mejor adaptación, en su ambiente, siempre se verán favorecidas por la selección natural. Por otro lado, el aislamiento reproductivo es un factor clave en la definición de especies de acuerdo al concepto biológico de especie descrito por Mayr (1969). Por eso un incremento en los procesos de especiación esta considerado de forma equivalente, al desarrollo de barreras ya sea de intercrusa, geográficas o físicas provocada por las diferencias genéticas acumuladas a través del tiempo y por lo tanto los híbridos presentan una menor adaptación al ambiente de sus progenitores debido a un desequilibrio genético en genomas divergentes (Arnold, 1997 citado por Gajardo *et al.*, 1998). Esto es lo que sucede con las poblaciones mexicanas, ya que de las pocas cruza con éxito reproductivo, sus híbridos fueron menos resistentes a las condiciones de laboratorio y los que lograron llegaron a la etapa adulta no presentaron apareamiento.

La especiación es concebida como una separación evolutiva de líneas cercanas de poblaciones genéticamente intrínsecas, así como reproductivas (Mayr, 1982). Muchos estudios de especiación inician con una evolución morfológica, como un primer objetivo de la selección natural sobre el fenotipo. Sin embargo, el fenómeno que subyace es genético. Poblaciones que presentan grandes diferencias morfológicas y que han estado separadas geográficamente por largo tiempo, aunque sean de la misma especie, pueden ser sexualmente compatibles, pero bajo condiciones de laboratorio, los híbridos producidos pueden presentar diferencias morfométricas y genéticas diferentes a las de sus progenitores o empezar a formar mecanismos de aislamiento precopulatorio, provocando así procesos de especiación (Mayr, 1969; Coyne, 1992) ó también que estas poblaciones estén en un proceso de desarrollo de barrera de intercambio genético (Ritchie y Phillips, 1998; Schluter, 1998; Gajardo *et al.*, 2001).

El aislamiento reproductivo está definido como la ausencia completa de intercrucía entre individuos de diferentes poblaciones o la fuerte restricción en el flujo genético (Schluter (1998). Ritchie y Phillips (1998), mencionan que la evolución del aislamiento reproductivo es un sinónimo de especiación que se da entre taxas opuestas o poblaciones (Ritchie y Phillips, 1998). Estos mismos autores mencionan que el aislamiento puede darse en tres etapas:

- a) La etapa prereproductiva (considerada como la diferencia en estructuras o la no estimulación al apareamiento);
- b) La etapa reproductiva (en donde las estructuras sexuales (gametos) no son compatibles y;



- c) La etapa postreproductiva (en donde el híbrido producido no presenta características fenotípicas y genéticas iguales a sus progenitores y por lo tanto no pueden adaptarse al medio).

Abreu-Grobois (1987), menciona que en *Artemia* solamente se dan dos clases generales de mecanismos de aislamiento reproductivo, el precopulatorio el cual es un mecanismo que no permite las cruzas interespecíficas y que pueden incluir mecanismos ecológicos, de comportamiento e inclusive mecanicos y; los mecanismos postcopulatorios, en los cuales incluyen procesos que reducen la viabilidad de la progenie hasta cierto estadio de vida en el ciclo del organismo. Estos dos procesos se vieron muy claros en este estudio, ya que para el mecanismo precopulatorio, se observó que 15 de las cruzas no presentaron apareamiento y se debe al comportamiento reproductivo de cada población como es una incompatibilidad de acoplamiento entre el macho y la hembra. Para la etapa postcopulatoria, se observó que los nauplios producidos sobrevivieron solamente hasta la etapa metanauplio/juvenil y se debe a una incompatibilidad fisiológica de adaptarse a un medio iónico diferente al de su medio natural o al de sus progenitores, provocando con ello una diferenciación genotípica entre las poblaciones (Bowen *et al.*, 1985), por lo que puede asegurarse que las diferencias genéticas son las que gobiernan las adaptaciones ecológicas de las poblaciones (Sorgeloos *et al.*, 1976; Vanhaecke *et al.*, 1984; citados por Abreu-Grobois, 1987).

El comportamiento entre los organismos de una pareja, como son la búsqueda, el cortejo, el apareamiento y finalmente la cópula, son componentes conductuales que pueden definir el éxito o fracaso de la formación de la progenie. Yoshito y De Almeida (1981), sugieren que la velocidad de apareamiento y la duración de la cópula pudieran estar controladas genéticamente. De lo anterior se infiere que si estos elementos conductuales difieren significativamente entre las poblaciones próximas e incluso simpátricamente, entonces conducen al aislamiento reproductivo, estrategia que a su vez permite mantener la identidad

genética de la población y su permanencia por lo tanto en un hábitat específico (Correa y Tapia, 1998). Estos mismos autores señalan que pueden existir diferencias en la morfología del sistema reproductivo para así generar un aislamiento reproductivo entre las poblaciones, por lo que sería recomendable realizar estudios morfológicos tanto de la abertura del ovisaco como de la forma del pene en *Artemia* con las poblaciones mexicanas para determinar si existe una diferencia morfológica que impida el apareamiento entre poblaciones.

Gajardo y Beardmore (2001), mencionan que la variabilidad genética es requerida para que se den cambios evolutivos, así como estados críticos tempranos en especiación dependen de la disponibilidad y evolución de las diferencias genéticas entre poblaciones (Coyne, 1992). La plasticidad del “pool” genético de *Artemia*, la cual provee de un potencial evolutivo alto, es una respuesta típica de los organismos expuestos a ambientes heterogéneos, como lo son el hábitat en donde vive *Artemia* (Gajardo *et al.*, 1995). La naturaleza de ambientes hipersalinos promueven la diferenciación genética en poblaciones de *Artemia*, restringiendo el flujo genético y ofreciendo muchos regimenes selectivos que tienden a seleccionar formas locales de poblaciones. La deriva génica también promueve la diferenciación de formas locales de *Artemia* debido a que éstas sufren o experimentan cambios drásticos en el tamaño efectivo de la población, aunado a sucesivos ciclos de extinción y recolonización (Gajardo y Beardmore, 2001). Debido a esto, no debe sorprendernos que las poblaciones de *Artemia* tiendan a desarrollar grandes “distancias genéticas” entre las poblaciones. Basado en estos hechos, cabe pensar que un modo de divergencia adaptativa de especiación es la mejor definición de este proceso que se da en la *Artemia* (Abreu-Grobois, 1987; Gajardo y Beardmore, 2001).

Por todo lo anterior, podemos concluir que las poblaciones mexicanas estudiadas de *Artemia*, se encuentran en un proceso evolutivo de aislamiento reproductivo, que es la especiación, ocasionado por la adaptación de cada una de

las poblaciones a su hábitat específico; el cual ha impreso esta característica en el genotipo de las poblaciones, ocasionando problemas pre y postcopulatorios en los organismos, así como diferencias morfológicas en cuanto a la longitud total de las hembras con respecto a la longitud del abdomen del macho. Podemos asegurar que aunque las poblaciones no están totalmente separadas genéticamente, ya que existe un bajo éxito reproductivo en la mayoría de las cruces, así como una baja viabilidad de los híbridos producidos, si se está dando la evolución de barreras genéticas que a la larga darán como consecuencia una especiación entre ellas, así como la tendencia a formar nuevas especies, sobre todo en aquellas en donde la composición iónica del agua es diferente al cloruro de sodio, como lo son las poblaciones de aguas interiores.

## CONCLUSIONES

1. Las siete poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana* estudiadas, ya sea en el estadio de quiste, embrión descapsulado, nauplio o adulto (hembra y macho), presentan diferencias morfométricas significativas entre ellas, sin importar el tipo de hábitat que ocupen (agua costera o agua interior) y latitud geográfica (norte, centro o sur de la república mexicana), que ocupen.
2. En cuanto a los valores morfométricos, los nauplios y adultos presentan mayor uniformidad, ya que las unidades de porcentaje de la matriz de clasificación se encuentran por arriba del 90% y por lo tanto es más fácil clasificar a las poblaciones.
3. La población mexicana con mayor talla es la de SLP, mientras que la más pequeña es la de YAV.
4. Las medidas determinadas genéticamente (como son: diámetro de ojos, longitud de la furca, longitud de las anténulas), no discriminan a las poblaciones, sino que son las medidas determinadas fenotípicamente (longitud total, longitud del abdomen, ancho del abdomen, ancho del saco ovífero).
5. Los nauplios presentan tallas menores a las 500  $\mu\text{m}$ , por lo que pueden considerarse como poblaciones susceptibles de ser cultivadas para ser utilizadas en la alimentación larvaria de peces y crustáceos.

6. Las diferencias morfométricas encontradas en las poblaciones en los estadios de desarrollo considerados, pueden deberse a que el hábitat que ocupan, presenta diferentes características de composición iónica del agua y que imprimen información en el genoma del organismo y podría ocasionar un principio de aislamiento ecológico.
7. Las diferencias entre la longitud del abdomen del macho y la longitud total de la hembra, es el factor morfométrico determinante, para que no se realice el apareamiento.
8. El estudio de aislamiento reproductivo entre las siete poblaciones de *Artemia franciscana* señala que existen problemas de entrecruzamiento, debido a que de las 42 cruzas realizadas, solamente siete presentan el 100% de éxito reproductivo. Estos problemas son tanto precopulatorios, así como postcopulatorios.
9. La mayoría de los híbridos producidos en las cruzas son inviables, ya que solamente alcanzan el estadio de desarrollo juvenil.
10. Las hembras de YAV y TEX no presentan ningún problema de cruce con las demás poblaciones.
11. Los problemas son menores cuando se realizan apareamientos entre poblaciones de aguas costeras ó entre poblaciones de aguas interiores, que cuando se inter cruzan poblaciones entre estos dos tipos de hábitat.
12. Las siete poblaciones de *Artemia franciscana* estudiadas, presentan un principio de especiación, debido a que se está dando una evolución del aislamiento reproductivo entre las poblaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Cuando se comparen poblaciones, debe mantenerse constante las condiciones de laboratorio, sobre todo en lo que refiere a la composición iónica del agua a utilizar.
2. Considerar a las poblaciones de aguas interiores, sobre todo cuando presenten en la naturaleza una composición química diferente a la del cloruro de sodio, ya que el desarrollo de los estadios no será el mismo cuando se utilice agua de mar preparada con sal marina y por lo tanto es recomendable utilizar agua de su propio hábitat.
3. Realizar estudios cromosómicos del DNA y RNAm para cada población para determinar distancias genéticas, que aunado a los estudios morfológicos y de aislamiento reproductivo, puedan dar una perspectiva más amplia de la separación entre las poblaciones.
4. Correlacionar la información morfométrica y reproductiva con el tipo de clima presente en el hábitat de cada población estudiada para la construcción de un modelo identificador que permita la elaboración de cartogramas con las diferentes poblaciones de *Artemia* en México.
5. Continuar con estudios de hibridación para determinar si hay posibilidad de obtener  $F_3$  y  $F_4$  de las poblaciones en donde si se encuentre descendencia.

## LITERATURA CITADA

- ABATZOPOULOS, T., KARAMANLIDIS, G., LEGER, P. y SORGELOOS, P. 1989. Further characterization of two *Artemia* populations from Northern Greece: biometry, hatching characteristics, caloric content and fatty acid profiles. *Hydrobiologia* 179: 211-222.
- ABATZOPOULOS, T.J., ZHANG, B., SORGELOOS, P. 1998. *Artemia tibetiana*: preliminary characterization of a new *Artemia* species found in Tibet (People's Republic of China). International Study on *Artemia*. LIX. *International Journal of Salt Lake Research* 7: 41-44.
- ABREU-GROBOIS, F.A. 1987. A review of the genetics of *Artemia*. pp. 61-99. En: *Artemia Research and Its Application. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press, Wetteren, Bélgica. 380p.
- ABREU-GROBOIS, F.A. y BEARDMORE, J.A. 1982. Genetics differentiation and speciation in the brine shrimp *Artemia*. pp. 345-376. En: *Mechanisms of speciation*. C. Barigozzi (Ed.) Alan R. Liss, Inc. N.Y. EUA.
- ALVAREZ, Z. y SANCHEZ, R. 1994. Evaluación de la calidad de la cepa de *Artemia* Las Cumaraguas, Paraguaya, Venezuela. *Ciencias Marinas* 20(3): 287-299.
- AMAT, F. 1979. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustáceo, Branquiópodo) de España. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 251 p.

- AMAT, F., 1980. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (Crustáceo, Branquiópodo) de España. I.- Análisis morfológico. Estudios alométricos referidos al crecimiento y a la forma. *Investigación Pesquera* 44(1): 217-240.
- AMAT, F., HONTORIA, F., ZUÑIGA, O. y WILSON, R. 1994. Localización y caracterización de poblaciones chilenas del crustáceo *Artemia* (Branquiópodo, Anostraceo). pp. 83-99. En: *Memorias VII Congreso Latinoamericano de Acuicultura*. Bogotá, Colombia.
- AMAT, F. 1985. Biología de *Artemia*. *Informes Técnicos del Instituto de Investigaciones Pesqueras*. 126-127: 3-60.
- BAID, I. 1963. The effect of salinity on growth and form of *Artemia salina*. L. *J. Exp. Zool.* 153:279-284.
- BARIGOZZI, C. 1974. *Artemia*: a survey of its significance in genetic problems. *Evolut. Biol.* 7:221-252.
- BARIGOZZI, C. 1980. Genus *Artemia*: problems of systematic. pp. 147-167. En: *The Brine Shrimp Artemia. Vol.1. Morphology. Genetics. Radiobiology. Toxicology*. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels, y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 298 p.
- BARIGOZZI, C. 1989. Cytogenetics and speciation of the brine shrimp *Artemia*. *Atti Acc. Lincei. Mem. fis.* 19: 57-96.



- BEARDMORE, J.A. y ABREU-GROBOIS, F.A. 1983. Taxonomy and evolution in the brine shrimp *Artemia*. pp. 153-164. En: *Protein polymorphism: adaptative and taxonomic significance*. G.S. Oxford y D. Rollinson (Eds.). Academic Press, London.
- BOWEN, S.T. 1965. The genetics of *Artemia salina*. V. Crossing over between the X and Y chromosomes. *Genetics* 52: 695-710.
- BOWEN, S.T., DAVIS, M.L., FENSTER, S.R. y LINDWALL, G.A. 1980. Sibling species of *Artemia*. pp. 151-167. En: *The brine shrimp Artemia*. Vol. 1 Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Persoone, G., Sorgeloos, P., Roels, O., y Jaspers, E. (Eds.) Universa Press, Wetteren, Bélgica. 318 p.
- BOWEN S.T., DURKIN, J.P., STERLING, G. y CLARK, S.L. 1978. *Artemia* hemoglobins: genetic variation in parthenogenetic and zygogenetic populations. *Biol. Bull.* 155: 273-287.
- BOWEN, S.T., FOGARINO, E.A., HITCHNER, K.N., DANA, G.L., CHOW, V.H.S., BUONCRISTIANI, M.R. y CARL, J.R. 1985. Ecological isolation in *Artemia*: population differences in tolerance of anion concentration. *J. Crust. Biol.* 5:106-129.
- BOWEN, S.T. y STERLING, G. 1978. Esterase and malate dehydrogenase isozyme polymorphisms in 15 *Artemia* populations. *Comp. Biochem. Physiol.* 61: 593-595.
- BROWNE, R.A. 1980a. Reproductive pattern and mode in the brine shrimp. *Ecology* 63: 43-47.

- BROWNE, R.A. 1980b. Competition experiments between parthenogenetic and sexual strains of the brine shrimp *Artemia salina*. *Ecology* 61: 471-474.
- BROWNE, R.A. y BOWEN, S.T. 1991. Taxonomy and population genetics of *Artemia*. Cap. 9. pp. 221-235. En: *Artemia Biology*. R.A. Browne, P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida. 374 p.
- BROWNE, R.A. y MACDONALD, G.H. 1982. Biogeography of the brine shrimp, *Artemia*: distribution of parthenogenetic and sexual populations. *J. Biogeogr.* 9: 331-338.
- CAI, Y. 1989. A redescription of the brine shrimp (*Artemia sinica*). *Wasmann J. Biol.* 47: 105-110.
- CASTRITIS, C. J. y CHRISTODOULOPOULOU, M. 1987. Biometrics of *Artemia* from Milos (Greece). pp. 219-220. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 380 p.
- CASTRO, B.T. 1993. Biología y cultivo de *Artemia franciscana* en el ex Lago de Texcoco, de Ecatepec, estado de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 72 p.
- CASTRO, B.T., CASTRO, M.G., CASTRO, M.J., MALPICA, S.A. y DE LARA, A.R. 1997a. Características morfométricas y calidad de los quistes de *Artemia* sp. (Crustacea:Anostraca), habitante de aguas sulfatadas de Coahuila, México. *Ciencias Marinas*. 23(4): 491-503.

CASTRO, B.T., CASTRO, M.J., MARIN, V.R.E., YOUNG, G.R., JENOURE, D., CASTRO, M.G., MALPICA, S.A. y DE LARA, A.R. 2000a. Calidad de los quistes y morfometría de la población de *Artemia franciscana* (Kellog, 1906) de la Laguna Pequeña de Yallahs, Jamaica. *Ciencias Marinas* 26(2): 201-214.

CASTRO, T. MALPICA, A., CASTRO, J., CASTRO, G., y DE LARA, R. 2000b. Environmental and biological characteristics of *Artemia* ecosystems in Mexico: An updated review. pp. 191-202. En: *Aquatic ecosystems of Mexico. Status and Scope*. M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Malley (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden. The Netherlands. 435 p.

CASTRO, G., CASTRO, J., DE LARA, R., GALLARDO, C., SALAZAR, I. y SANCHEZ, B. 1989. Características biométricas generales, modo de reproducción y aislamiento reproductivo de la población silvestre de *Artemia* sp. de Las Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. *Revista Latinoamericana de Acuicultura* 39: 18-25.

CASTRO, M.J., MALPICA, S.A., BRAVO, G.C., CASTRO, M.G., DE LARA, A.R. y CASTRO, B.T. 1997b. Morfometría de la población de *Artemia franciscana* de Bahía de Ceuta, Sinaloa, México. *Oceanología* 2(14):155-167.

CASTRO, M.J., MALPICA, S.A., CASTRO, M.G., CASTRO, B.T. y DE LARA, A.R. 1999. 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. *Rev. Biol. Trop.* 47(Supl. I): 99-104.

- CASTRO, M.J., MALPICA, S.A., LOPEZ, C.J., CASTRO, M.G., CASTRO, B.T. y DE LARA, A.R. 1997c. Evaluación morfométrica de la población de *Artemia franciscana* de Yavaros, Sonora. *Oceanología* 1(13): 143-153.
- CASTRO, M.J., MALPICA, S.A., RODRIGUEZ, G.S.A., CASTRO, B.T. y DE LARA, A.R. 1995. Análisis morfométrico de *Artemia* spp. En las salinas "Las Coloradas", Oaxaca, México. *Oceanología* 2(6): 116-128.
- CLARK, L. y BOWEN, S.T. 1976. The genetics of *Artemia salina*. VII. Reproductive isolation. *J. Hered.* 67:385-388.
- COHEN, R.G., AMAT, F. HONTORIA, F. y NAVARRO, C. 1999. Preliminary characterization of some Argentinean *Artemia* populations from la Pampa and Buenos Aires provinces. *International Journal of Salt lake Research* 8: 329-340.
- COLE, G.A. y BROWNE, R.J. 1967. Chemistry of *Artemia* habitats. *Ecology* 48: 858-861.
- CORREA, F.S. 1991. *Caracterización biológica y bioquímica de algunas poblaciones de Artemia franciscana Kellog, 1906*. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Científicas y Educación Superior de Ensenada, México. 150 p.
- CORREA, F.S. y TAPIA, O.V. 1998. Comportamiento reproductivo de *Artemia franciscana* (Kellog, 1906) de San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 24(3): 295-301.

- CORREA, F.S. y BÜCKLE, L.F.R. 1993. Morfología y biometría de cinco poblaciones de *Artemia franciscana* (Anostraca:Artemiidae). *Rev. Biol. Trop.* 41(1): 103-110.
- CORREA, F. S., BÜCKLE, L.F. y DE LA ROSA, J.V. 1993. Hibridación en algunas poblaciones de *Artemia franciscana* (Anostraca:Artemiidae). *Rev. Biol. Trop.* 41(1):97-101.
- COYNE, J.A. 1992. Genetics and speciation. *Nature* 355: 511-515.
- CRIEL, G.R.J. y MACRAE, T.H. 2002. Chapter I. *Artemia* morphology and structure. pp. 1-38. En: *Biology of aquatic organisms: Artemia basic and applied biology*. Abatzopoulos, T.J., Beardmore, J.A., Clegg, J.S. y Sorgeloos, P. (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 286 p.
- DE LOS SANTOS, C.Jr., SORGELOOS, P., LAVINA, P. y BERNARDINO, A. 1980. Successful inoculation of *Artemia* and production of cysts in man-made salterns in the Philippines. pp. 159-163. En: *The Brine Shrimp Artemia. Vol.3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. G. Persoone, P. Sorgeloos,, O. Roels, y E.Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 456 p.
- EL-BERMAWI, N., BAXEVANIS, A.D., ABATZOPOULUS, T.J., VAN STAPPEN, G. y SORGELOOS, P. 2004. Salinity effects on survival, growth and morphometry of four Egyptian *Artemia* populations (International Sutdy on *Artemia*. LXVII). *Hydrobiologia* 00:1-14 (En prensa).

- ERHARDT, J., MONOCOULON, R. y NIAUSSAT, P. 1971. Comportement in vitro de la chlorophycée *Dunaliella salina* dans les milieux a salinité différente. Determination d'un optimum de salinité. *Vie-Mili. Suppl.* 22: 203-217.
- ESPINOSA, G., GELABERT, R., DIAZ, R., TABOADA, E. y BARRIONUEVO, A. 1995. Comparación de la especie de *Artemia* de Cuba con *A. franciscana* mediante genética, bioquímica e intercruzamiento genético. *Rev. Invest. Mar.* 16(1-3): 151-156.
- FRANCO, S.M.C. 1989. Descripción morfológica por estudios de *Artemia* sp. del Bolsón de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Biología. Universidad Juárez del Estado de Durango. 32 p.
- GAJARDO, G. y BEARDMORE, J.A. 1993. Electrophoretic evidence suggests that the *Artemia* found in the Salar de Atacama, Chile is *A. franciscana* Kellogg. *Hydrobiologia* 257: 65-71.
- GAJARDO, G. y BEARDMORE, J.A. 2001. Coadaptation: lessons from the brine shrimp *Artemia*, "the aquatic *Drosophila*" (Crustacea; Anostraca). *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 65-72.
- GAJARDO, G., ABATZOPOULOS, T.J., KAPPAS, I. y BEARDMORE, J.A. 2002. Chapter V. Evolution and speciation. pp. 225-250. En: *Biology of aquatic organisms: Artemia basic and applied biology*. Abatzopoulos, T.J., Beardmore, J.A., Clegg, J.S. y Sorgeloos, P. (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 286 p.

- GAJARDO, G., COLIHUEQUE, N., PARRAGUEZ, M. y SORGELOOS, P. 1998. Internacional study on *Artemia* LVIII. Morphologic differentiation and reproductive isolation of *Artemia* populations from South America. *International Journal of Salt lake Research* 7: 133-151.
- GAJARDO, G., DA CONCEICAO, M., WEBER, L. y BEARDMORE, J.A. 1995. Genetic variability and interpopulational differentiation of *Artemia* strains from South America. *Hydrobiologia* 302: 21-29.
- GAJARDO, G., PARRAGUEZ, M., BEARDMORE, J.A. y SORGELOOS, P. 2001. Reproduction in the brine shrimp *Artemia*: evolutionary relevante of laboratory cross-fertility tests. *J. Zool. Lond.* 253: 25-32.
- GALLARDO, C., y CASTRO, M.J. 1987. Reproduction and genetics of Mexican *Artemia*. pp. 249-253. En: *Artemia Research an Its Application. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa press, Wetteren, Bélgica. 380 p.
- GEDDES, M.C. 1980. The brine shrimp *Artemia* and *Parartemia* in Australia. pp. 57-65. En: *The Brine Shrimp Artemia. Vol.3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels, y E.Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 428 p.
- GILCHRIST, B.M. 1960. Growth and form of the brine shrimp *Artemia salina* (L.). *Proc. Zool. Soc. Lond.* 134:221-235.
- GÜNTHER, R.T. 1900. Contribution to the natural history of Lake Urmi, N.W. Persia and its neighborhood. *Trans. Limn. Soc. Lond.* 27: 345-453.

- HONTORIA, F. y AMAT, F. 1992. Morphological characterization of adult *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda) from different geographical origin. Mediterranean populations. *Journal of Plankton Research* 14(7): 949-959.
- KACHIGAN, S.K. 1991. *Multivariate statistical analysis. A conceptual introduction*. Radius Press, New York, EUA. 303 p.
- KUENEN, D.J. 1939. systematical and physiological notes on the brine shrimp *Artemia*. *Arch. Néerl. Zool.* 3:365-449.
- LÉGER, P., BENGSTON, D.A., SIMPSON, K.L. y SORGELLOOS, P. 1986. The use and nutritional value of *Artemia* as a food source. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 24: 521-623.
- LENZ, P.H. y BROWNE, R.A. 1991. Ecology of *Artemia*. pp. 237-253. En: *Artemia Biology*. R.A. Browne, P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida. 374 p.
- LEACH, W.E. 1819. Entomostraca. *Dict. Scien. Nat.* 4: 524-543.
- LENZ, P. y DANA, G. 1987. Life-cycle studies in *Artemia*: a comparison between a subtropical and temperate population. pp. 89-100. *Artemia Research and its Applications. Vol. 3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair, y E. Jaspers (Eds.). Universa Press, Wetteren, Bélgica. 535 p.
- LINDER, F. 1941. Contribution to the morphology and the taxonomy of the Branchiopoda Anostraca. *Zool. Bidr. Upps.* 20: 101-302.



- LYSENKO, N. 1987. Preliminary characterization of four populations of *Artemia* from the Dominican Republic. pp. 221-226. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology.* P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 380 p.
- MAYR, E. 1969. *Principles of systematic Zoology.* Mc.Graw-Hill, New York, EUA. 453 p.
- MAYR, E. 1982. *The growth of biological thought. Diversity, evolution and inheritance.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 974 p.
- NAIHONG, X., AUDENAERT, E., VANOVERBEKE, J., BRENDONCK, L., SORGELOOS, P. y DE MEESTER, L. 2000. Low among-population genetic differentiation in Chinese bisexual *Artemia* populations. *Heredity* 84: 238-243.
- PICCINELLI, M y PROSDOCIMI, T. 1968. Descrizione taxonomica delle due specie *Artemia salina* L. e *Artemia persimilis*. *Rend Inst. Lomb. Sci. Lett. Classe Sci.* 102(B): 113-118.
- PILLA, E.J.S. 1992. *Genetic differentiation and speciation in Old World Artemia.* Ph. D. Thesis. University of Wales, Swansea, Wales, UK. 356 p.
- PILLA, E.J.S. y BEARDMORE, J.A. 1994. Genetic and morphometric differentiation in Old World bisexual species of the brine shrimp *Artemia*. *Heredity* 72: 47-56.

- PERSOONE, G. y SORGELOOS, P. 1980. General aspects of the ecology and biogeography of *Artemia*. pp. 3-24. En: *The Brine Shrimp Artemia, Vol. 3. Ecology. Culturing, Use in Aquaculture*. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.). Universa Press, Wetteren, Bélgica. 456 p.
- RITCHIE, M.G. y PHILLIPS, S.D.F. 1998. Chapter 22. The genetics of sexual isolation. En: *Endless forms. Species and Speciation*. D.J. Howard y S.H. Berlocher (Eds.). Oxford University Press. New York, EUA. 470 p.
- SCHREHARDT, A. 1987. A scanning electron-microscope study of the post-embryonic development of *Artemia*. pp.5-32. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 380p.
- SCHLUTER, D. 1998. Chapter 9. Ecological causes of speciation. pp. 114-129. En: *Endless forms. Species and Speciation*. D.J. Howard y S.H. Berlocher (Eds.). Oxford university Press. New York, EUA. 470 p.
- SORGELOOS, P. 1980. Life history of the brine shrimp *Artemia*. pp. 19-23. En: *The Brine Shrimp Artemia. Vol.3. Ecology. Culturing, Use in Aquaculture*. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.) Universa Press, Wetteren, Bélgica. 456 p.
- STELLA, E. 1933. Phenotypical characteristics and geographical distribution of several biotypes of *Artemia salina* L. *Zeitschrift fur Induktive Abstammungs und Vererbungslehre* 65: 412-466.

- TARNCHALANUKIT, W. y WONGRAT, L. 1987. *Artemia* culture in Thailand. pp. 201-213. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol. 3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 535p.
- TATSUOKA, M.M. 1970. *Selected topics in advanced statistics. An Elementary Approach. No.6. Discriminant Analysis*. Ed. IPAT. Illinois, EUA. 57 p.
- TORRENTERA, L. y DODSON, S.I. 1995. Morphological diversity of populations of *Artemia* (Branchiopoda) IN YUCATAN. *Journal of crustacean Biology* 15: 86-102.
- TRANTAPHYLLIDIS, G.V., ABATZOPOULOS, T.J. Y SORGELOOS, P. 1998. Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *Journal of Biogeography* 25: 213-226.
- TRANTAPHYLLIDIS, G.V., CRIEL, G.R.J., ABATZOPOULOS, T.J. y SORGELOOS, P. 1997a. International study on *Artemia*. LIV. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World strains. I. Bisexual populations. *Hydrobiologia* 357: 139-153.
- TRANTAPHYLLIDIS, G.V., CRIEL, G.R.J., ABATZOPOULOS, T.J. y SORGELOOS, P. 1997b. International study on *Artemia*. LIV. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World strains. II. Parthenogenetic populations. *Hydrobiologia* 357: 155-163.

- TRIANANTAPHYLLIDIS, G.V., POULOPOULOU, K., ABATZOPOULOS, T.J., PINTO, P. C.A. y SORGELOOS, P. 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.
- TRIANANTAPHYLLIDIS, G.V., ZHANG, B., ZHU, L. y SORGELOOS, P. 1994. International study on *Artemia*. L. Review of the literature on *Artemia* from salt lakes in the People's Republic of China. *International Journal of Salt Lake Research* 3:93-104.
- TRUONG-TRONG, N. 1995. Contribution to the speciation of the genus *Artemia* with special emphasis to Eastern Old World populations. M.Sc. dissertation. University of Ghent, Bélgica. 120 p.
- VAN BALLAER, E., VERSICHELE, D., VANHAECKE, P., LÉGER, P., BEN, A.N., TURKI, S. Y SORGELOOS, P. 1987. Characterization of *Artemia* from different localities in Tunisia with regard to their use in local aquaculture. pp.200-209. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Declair y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 380 p.
- VAN STAPPEN, G. 2002. Chapter IV. Zoogeography. pp. 171-224. En: *Biology of aquatic organisms: Artemia basic and applied biology*. Abatzopoulos, T.J., Beardmore, J.A., Clegg, J.S. y Sorgeloos, P. (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 286 p.

- VANHAECKE, P., TACKAERT, W. y SORGELOOS, P. 1987. The biogeography of *Artemia*: an updated review. pp. 129-155. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. Sorgeloos, P., D.A. Bengston, W. Decler, y E. Jaspers (Eds.). Universa Press, Wetteren, Bélgica. 380 p.
- VANHAECKE, P. y SORGELOOS, P. 1980. Internacional Study on *Artemia* IV. The biometrics of *Artemia* strains from different geographical origin. pp. 393-405. En: *The Brine Shrimp Artemia. Vol.3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers (Eds.) Universa Press, Wetteren, Bélgica. 456 p.
- VU DO, Q. y NGUYEN NGOC, L. 1987. Inoculation of *Artemia* in experimental ponds in central Vietnam: an ecological approach and a comparison of three geographical strains. pp. 253-269. En: *Artemia Research and Its Applications. Vol. 3. Ecology. Culturing. Use in Aquaculture*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Decler y E. Jaspers (Eds.). Universa Press. Wetteren, Bélgica. 535 p.
- XIN, N., SUN, J., ZHANG, B., TRIANTAPHYLLIDIS, G.V., VAN STAPPEN, G. y SORGELOOS, P. 1994. International study on *Artemia*. LI. New survey of *Artemia* resources in the People's Republic of China. *Int. J. Salt lake Res.* 3: 105-112.
- YANENG, C. 1987. Observations on parthenogenetic and bisexual brine shrimp from the People's Republic of China. pp. 227-232. En: *Artemia Research an Its Application. Vol.1. Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. P. Sorgeloos, D.A. Bengston, W. Decler y E. Jaspers (Eds.). Universa Press, Wetteren, Bélgica. 380 p.

YOSHITO, M. y DE ALMEIDA, J.R. 1981. Association between mating speed and letal genes in *Drosophila melanogaster*. *Rev. Brasil. Genet.* IV:329-336.

ZHANG, R. y LIU, F. 1989. Geographical distribution of *Artemia* in P.R. China. *Artemia Newsletter* 12: 45-47.

ZUÑIGA, O., WILSON, R., AMAT, F. y HONTORIA, F. 1999. Distribution and characterization of Chilean populations of the brine shrimp *Artemia* (Crustacea Branchiopoda, Anostraca). *International Journal of Salt Lake Research* 8: 23-40.