

Morfometría de *Ceratium balechii*

Ceratium balechii es una especie común en el Pacífico mexicano y que ocurre también en el pacífico centroamericano y hasta las costas del Norte de Chile, erigida recientemente como una nueva especie (Meave *et al.*, 2003b) toda vez que se reconoció que había sido confundida con *Ceratium dens*. Esta especie presenta variaciones ambientales, ya que sus organismos sufren procesos de autotomía y ciclomorfismo, por lo que se han reconocido dos formas: la *f. balechii* y la *f. longum* (fig. 27) las cuales se diferencian por la longitud total del organismo.

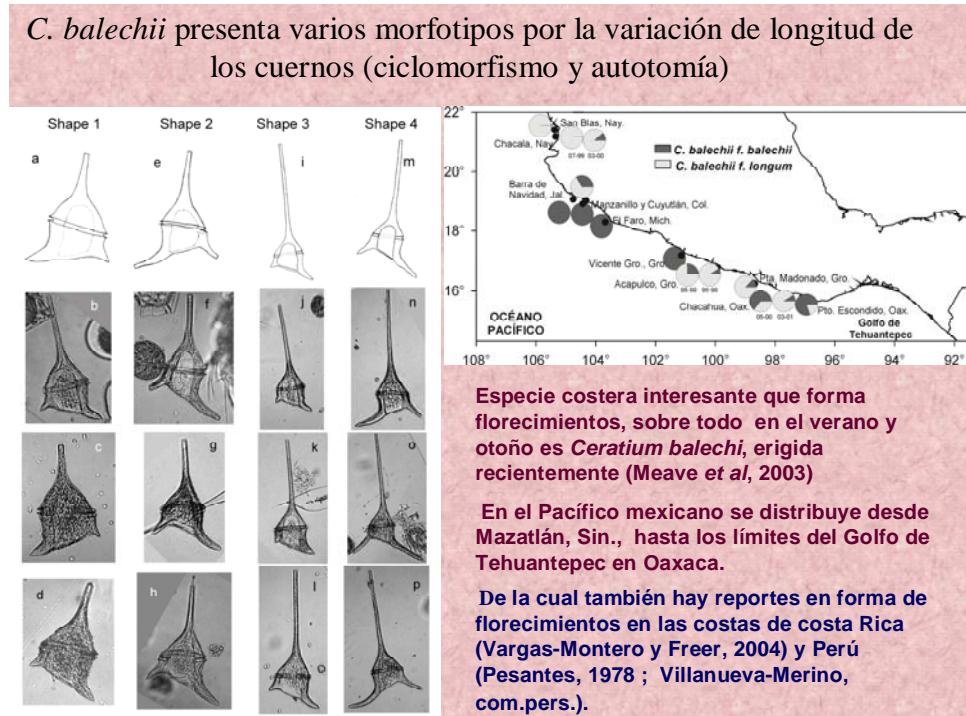


Fig. 27. Distribución de *C. balechii* en las costas del PM y ejemplificación de su variación morfológica

El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios de la morfología de *Ceratium balechii* Meave, Zamudio et. Okolodkov (Meave *et al.*, 2003b) en relación con la temperatura.

Metodología

Para ello se realizó un estudio bianual (1999-2000) haciendo colectas mensuales en la Bahía de Mazatlán. Las muestras de fitoplancton de red fueron colectadas y preservadas con formol por el M. en C. Roberto Cortés-Altamirano del ICMaL Unidad Mazatlán.

Para obtener datos más confiable de abundancia relativa, para cada muestra se contabilizó el número de alícuotas revisadas: 3 cuando la especie era rara o ausente y 1 ó 2 si era más abundante.

Se fotografiaron todos los organismos reconocidos como *Ceratium balechii*, usando un microscopio óptico compuesto Zeiss obtovar y una cámara digital Sony.

En cada organismo se evaluaron 6 caracteres cuantitativos (tabla 15); las mediciones se realizaron con el Módulo de Medición del Programa Leica IM1000 V1.20 (versión 2000), haciendo previamente una calibración (Fig. 28); en total se midieron 345 células.

La forma se determinó con base en la longitud total del organismo, así si $l_t > 215 \mu\text{m}$ correspondía a la f. *longum*, según la gráfica de frecuencias de las longitudes totales de los organismos para ambas formas (Fig. 29).

Tabla 15. Lista de caracteres usados en el análisis morfométrico

No.	Carácter	Abrev.	Tipo carácter
1	Longitud total	l_t	cuantitativo
2	Longitud del cuerno apical	l_{ca}	cuantitativo
3	Distancia de separación entre los cuernos antapicales	d_{seca}	cuantitativo
4	Longitud del cuerno derecho	l_{cd}	cuantitativo
5	Longitud del cuerno izquierdo	l_{ci}	cuantitativo
6	Transdiámetro	t	cuantitativo

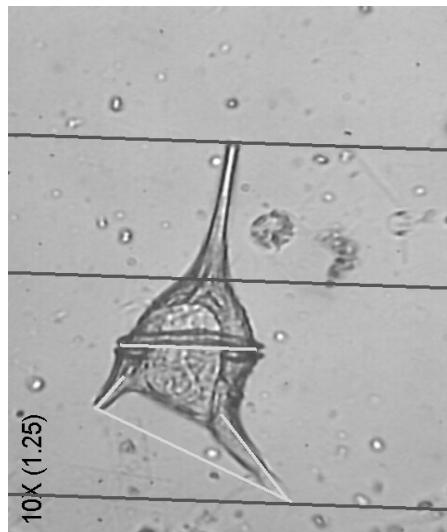


Fig. 28. Manera de evaluar los caracteres en *C. balechii*

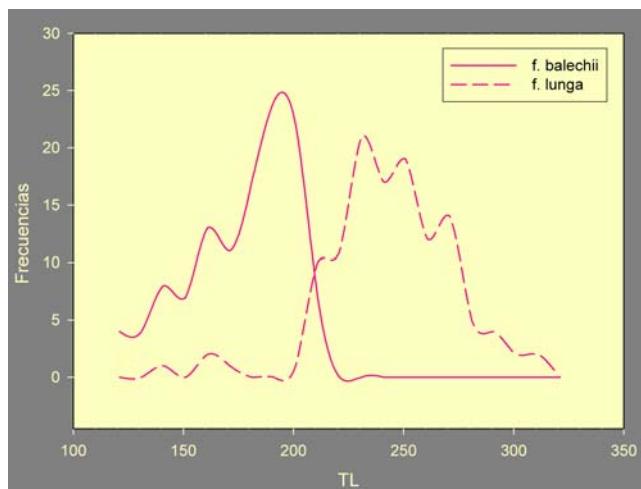


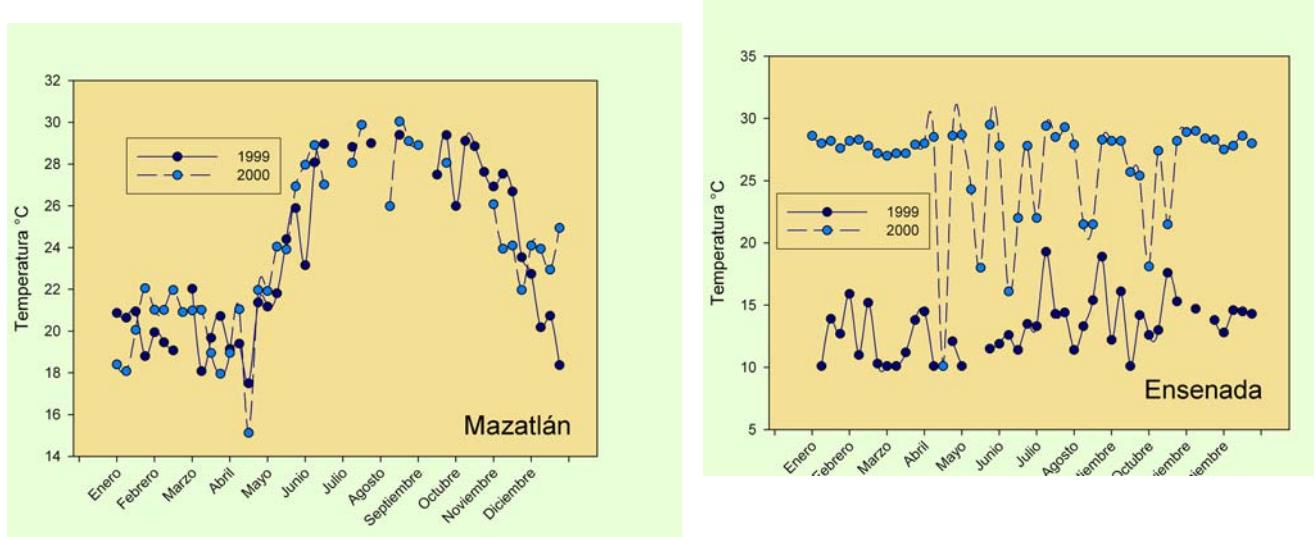
Fig. 29. Gráfica de frecuencias de longitudes de formas de *C. balechii*

Se conformó una base de datos en Excel, los cuales fueron analizados con técnicas estadísticas multivariadas usando el programa NCSS (versión 2000). Se utilizaron las siguientes técnicas: Análisis de Componentes Principales y Análisis de Discriminantes.

e aplicó también un análisis de discriminantes para evaluar las diferencias multivariadas de ambas formas entre meses.

Adicionalmente, con el programa SIGMA PLOT se graficó:

Las temperaturas superficiales de la columna de agua en Mazatlán obtenidas de los datos de imágenes de satélite de la serie NOA AVHRR con resolución de 1.1 km²/píxel (Fig. 30A). Para comparar esta localidad con otra del Pacífico se analizaron también los datos de bahía de Ensenada, B.C. (Fig. 30B).



Figs. 30A-B. Gráfica de temperatura superficial mensual de la columna de agua en Mazatlán (A) y Ensenada (B) durante 1999 y 2000

Resultados

De la abundancia de la especie a través del año

Ceratium balechii nunca formó florecimientos y fue más abundante en el 2000, sobre todo en mayo y de agosto a octubre; de noviembre a diciembre empezó a escasear y en ambos eneros estuvo prácticamente ausente (Fig. 31).

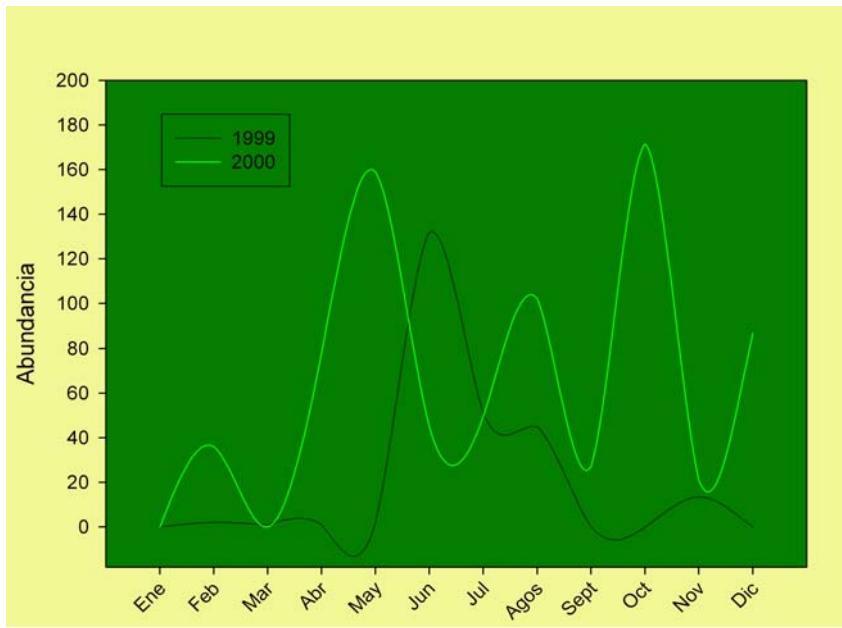


Fig. 31. Grafica de la abundancia mensual de *C. balechii* a lo largo del bienio 1999-2000

Al graficar las frecuencias relativas de las formas en relación a las temperaturas mensuales en ambos años, se observó que ambas formas eran excluyentes lo que motivó a pensar que la misma especie se transforma. (Fig. 32). Además se observa que la *f. balechii* domina en una temperatura de 18-20 °C, mientras que la *f. longum* de 25-27 °C.

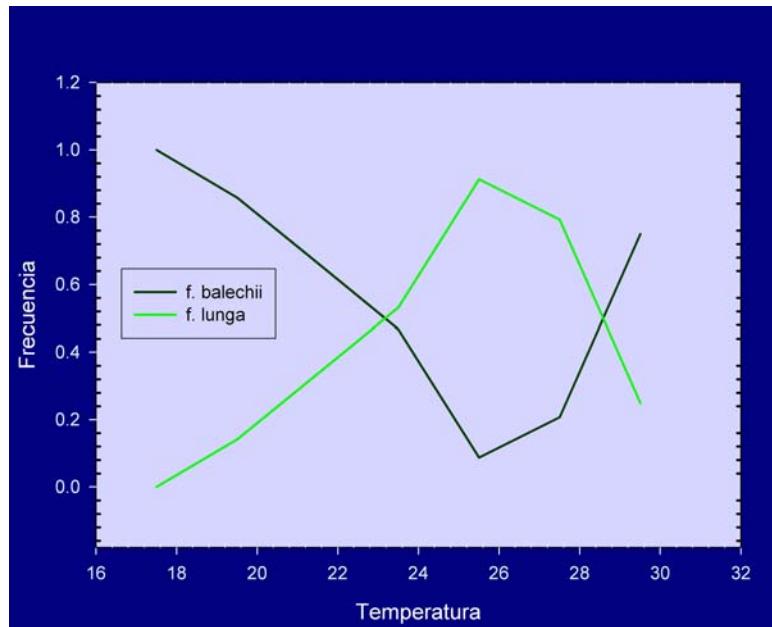


Fig. 32. Gráfica de frecuencias relativa mensual de las formas de *C. balechii*

En la Figs. 33 y 34 se ejemplifica la distribución de las distintas formas (*f. balechii* y la *f. longum* de *C. balechii*) a través del tiempo en los años 1999 y 2000 (Fig. 33 y 34). Mientras que en las

tablas 16 y 17 se ponen los datos de abundancia relativa de cada una de las formas por mes en los años 1999 y 2000.

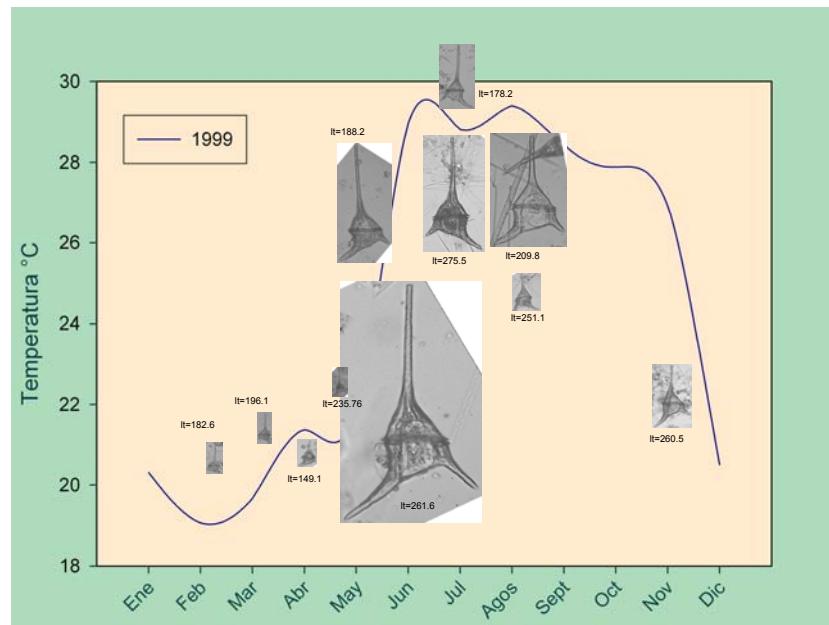


Fig. 33. Distribución de formas de *C. balechii* durante el año 1999. El tamaño de los organismos es un indicativo de la abundancia de las formas en cada mes

Tabla 16. Abundancias elativas de formas de *C. balechii* a lo largo del año 1999.

MES (1999)	<i>f. balechii</i>	<i>f. longum</i>
Enero	-	-
Febrero	2	-
Marzo	1	-
Abril	1	-
Mayo	-	2
Junio	32	101
Julio	10	42
Agosto	3	42
Septiembre	-	-
Octubre	-	-
Noviembre	-	14
Diciembre	-	-

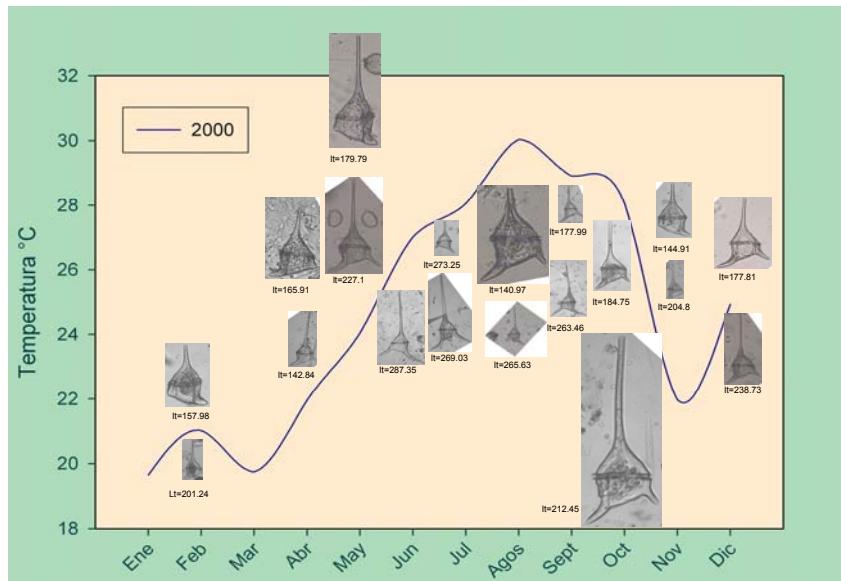


Fig. 34. Distribución de formas de *C. balechii* durante el año 2000. El tamaño de los organismos es un indicativo de la abundancia de las formas en cada mes

Tabla 17. Abundancias elativas de formas de *C. balechii* a lo largo del año 2000.

MES (2000)	<i>f. balechii</i>	<i>f. lunga</i>
Enero	-	-
Febrero	31	6
Marzo	-	-
Abril	52	26
Mayo	72	88
Junio	-	45
Julio	5	45
Agosto	77	26
Septiembre	6	21
Octubre	43	129
Noviembre	15	6
Diciembre	44	44

Resultados de análisis de Componentes Principales

Las dos primeras componentes presentaron una variación acumulada del 61.75%. La fig. 35 muestra que los caracteres que más información proveen son *dseca* (distancia de la separación entre los cuernos antapicales) y *t* (ancho del organismo a nivel del transdiámetro).

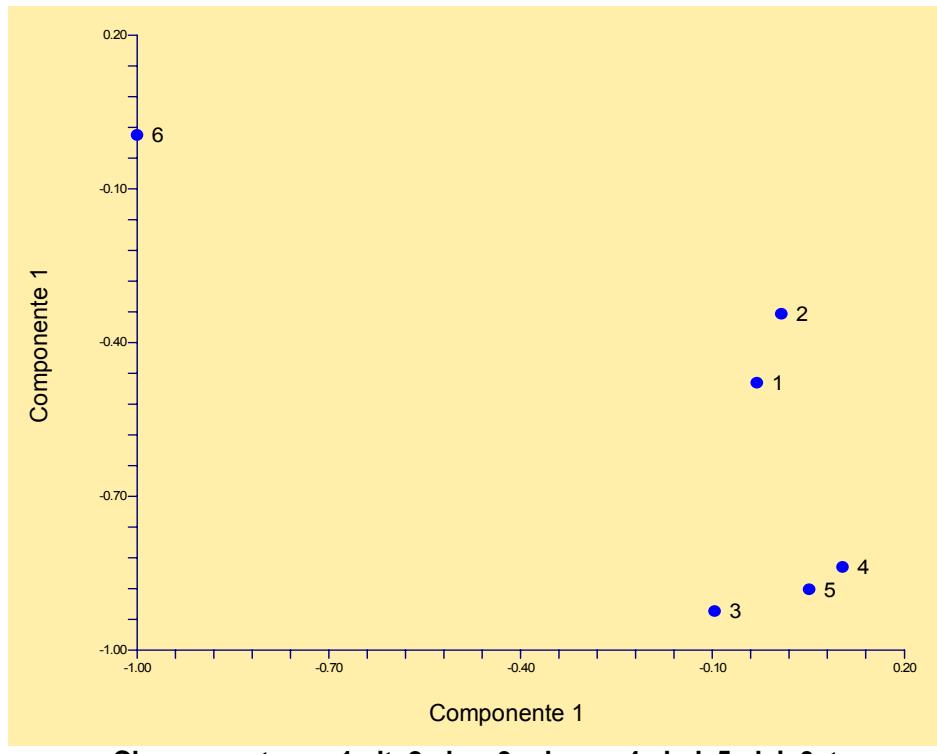


Fig. 35. Grafica de componentes para los caracteres morfométricos evaluados

Resultados del Análisis de Discriminantes

En la tabla 18 se observan los resultados de la clasificación estadística de las formas mostrando que el 90.8% de los datos estuvieron bien clasificados. Dicho análisis fue significativo. $\lambda = 0.3485$ $gl=1$ y $P<0.0005$

Tabla 18 Clasificación estadística de las formas de *C. balechii*

	predecidos	predecidos	
Establecidos	<i>f. balechii</i>	<i>f. lunga</i>	Total
<i>f. balechii</i>	115	2	117
<i>f. lunga</i>	9	113	122
Total	124	115	239

También se obtuvieron los coeficientes canónicos estandarizados producto del análisis de discriminantes. Con la tabla 19 correspondiente a dichos coeficientes, se puede notar que las variables más importantes para la diferenciación de las formas fueron *lt* (longitud total), *t* (transdiámetro) y *dseca* (distancia de separación entre los cuernos antapicales).

Tabla. 19. Coeficientes canónicos estandarizados

Variable	Variate1
lt	1.009390
lca	-0.061927
dseca	-0.219604
lcd	0.102284
lic	0.190659
t	0.399976

Dado que solo se tenía una función discriminante para poder visualizar las diferencias entre las formas, se graficaron las frecuencias de los valores determinados por la función discriminante (scores), para ambas formas. De esta manera en la fig. 36 se puede apreciar que, de acuerdo a este análisis multivariado, hay una clara segregación de ambas formas.

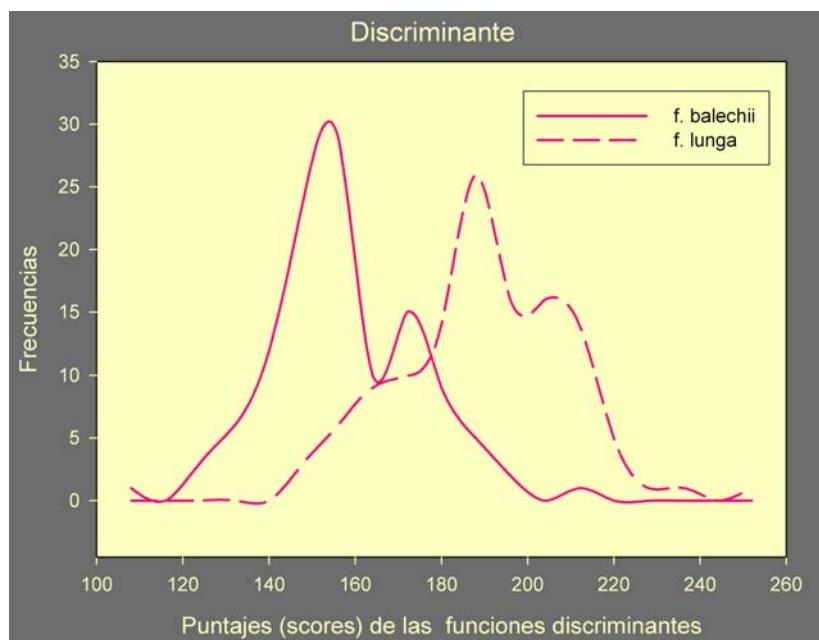


Fig. 36. Grafica de las frecuencias de los scores discriminantes

Por otra parte para investigar sobre la influencia de la temperatura de agua en la expresión de la forma de la especie *C. balechii*, se hizo un análisis de Discriminantes de las formas según el mes y el resultado fue claro: ocurre una segregación de las formas de acuerdo al mes. La temporada junio-julio-agosto-septiembre y febrero se muestran como conjuntos separados, mientras que marzo-abril-mayo y octubre-noviembre como transición (Fig. 37).

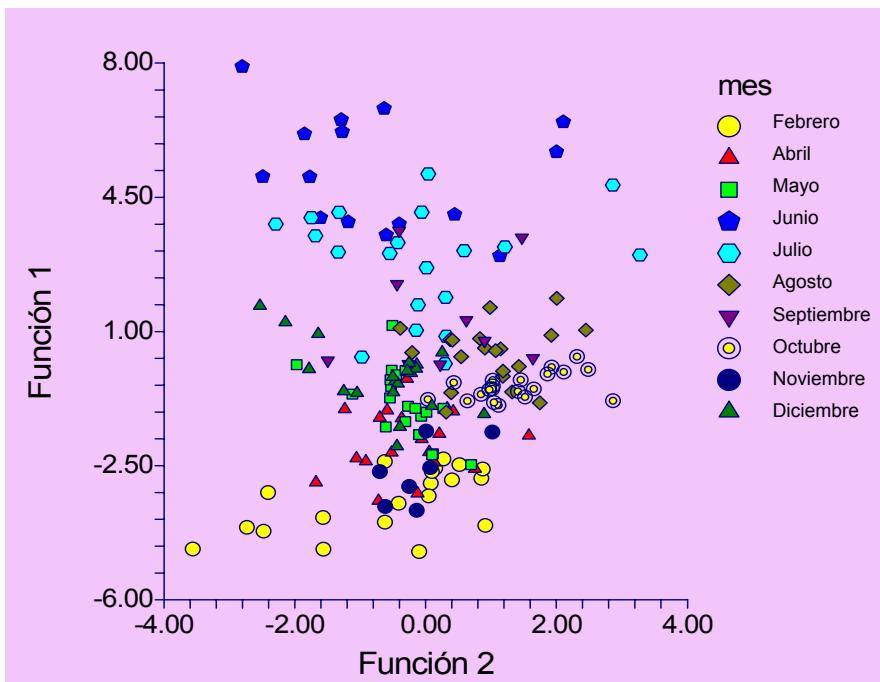


Fig. 37. Espacio discriminante entre la primera y segunda función del análisis entre meses, para ambas formas.

Por último se obtuvo la correlación entre las temperaturas del día de la colecta y el promedio semanal de la fecha de colecta en el año 2000, con los caracteres morfológicos, observándose que la temperatura se correlacionó positivamente con todos los caracteres excepto con *t* (transdiámetro) (tabla 20). Aunque las correlaciones de los 6 caracteres evaluados con la temperatura fueron significativas.

Tabla 20. Correlación de los caracteres morfométricos con temperaturas

		Tem. del día	Tem. semanal
tem. del día	r	1.00	0.68
	p	0.00	0.00
temp semanal	r	0.68	1.00
	p	0.00	0.00
tl	r	0.60	0.50
	p	0.00	0.00
ahl	r	0.58	0.48
	p	0.00	0.00
cdah	r	0.32	0.30
	p	0.00	0.00
rahl	r	0.48	0.48
	p	0.00	0.00
lahl	r	0.46	0.43
	p	0.00	0.00
<i>t</i>	r	-0.20	-0.18
	p	0.01	0.01

CONCLUSIONES

En ambos años la f. *lunga* se presentó en los meses más calidos. De febrero a abril dominó la f. *balechii* con brazos cortos (los organismos sufren autotomía). Prácticamente toda la población cambia simultáneamente (sufre ciclomorfosis) y los cambios están correlacionados con la temperatura del agua.

La gráfica del análisis de discriminantes de las formas entre meses fortalece la importancia de la temperatura en el comportamiento de las formas de *C. balechii*.

Los resultados apoyan la hipótesis de que ambas formas son conespecíficas y no variedades distintas de otra especie semejante: *Ceratium divaricatum* (Hernández Becerril y Alonso, 2004).

Referencias:

- Abé, T.H. 1967. The armored Dinoflagellata. II. Prorocentridae and Dinophysidae (B)- *Dinophysis* and its allied genera. *Publish Seto marine Biology Laboratory*. 15: 37-68.
- Aké-Castillo, J. A., D. U. Hernández-Becerril & M. E. Meave del Castillo. (1999.) Species of the genus Thalassiosira (Bacillariophyceae) from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Botanica Marina* 42: 487-503
- Aké-Castillo, J.A., Hernández-Becerril, D.U., M.E. Meave del Castillo & E. Bravo-Sierra. 2001. Species of *Minidiscus* (Bacillariophyta) in the Mexican Pacific Ocean. *Cryptogamie Algologie* 22(1): 101-107
- Balech, E. y H. Ferrando, 1964. *Fitoplancton Marino*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires, 155 p.
- Balech, E. 1988. Los Dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. *Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía*, Madrid 1: 1-219 pp., 88 láms.
- Begon, M., J.L. Harper. & C. Townsend. 1996. Ecology. Individuals populations and communities. 3rd Ed. Blackwell Science. Oxford, Great Britain.
- Boltoskoy, A. 1995. Técnicas de microscopía electrónica de barrido: aplicación a las microalgas. P.P: 119- 138. Manual de Métodos Ficológicos. Alveal, K., M.e. Ferrario, E.C. Oliveira y E Sar. (eds). Editorial Anibal Pinto, S.A. Concepción, Chile.
- Esqueda-Lara, K. 2003. Fitoplancton de red del litoral de Jalisco y Colima en el ciclo anual 2001-2002. Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara. 112 p.
- Fensome, R.A., Taylor, F.J.R., Norris, G., Sarjeant, W.A.S., Wharton, D.I. & Williams, G.L. 1993. A Clasification of Living and Fossil Dinoflagellates. *Micropaleontology, Special Publishers*. No. 7: 1-351, Sheridan Press, Hanover.
- Flamand, S. C. 1991. Pacífico Tropical Mexicano: Cabo Corrientes con la frontera con Guatemala. Oceanografía Geológica. p.p: 117-148. En: De la Lanza, G. (ed.). *Oceanografía de Mares Mexicanos* AGT Editor, S.A. México.
- Fryxell, G.A & G.R. Hasle. 2003. Taxonomy on harmful diatoms. p.p: 465-510. In: Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson & A.D. Cembella (Eds.) 2003. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. UNESCO. Paris, Francia.

Hair, J.F. Jr., R.L. Tatham, R.E. Anderson & W.C. Black. 1998. *Multivariate Data Analysis with Readings*. 5th Ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ.

Halim, Y. 1965. Microplancton des eaux égyptiennes. II.- Chrysomonadines; Ebriediens et Dinoflagellés nouveaux ou d'intérêt biogéographique. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions de la Commission internationale de la Exploration scientifique de la Mer Méditerranée* 17: 495-502.

Hallegraeff, G.M. & Lucas, I.A.N. 1988. The marine Dinoflagellate genus *Dinophysis* (Dinophyceae): photosynthetic, oceanic species. *Phycologia* 27(1):25-42.

Hansen, G. 1993. Dimorphic individuals of *Dinophysis acuta* and *D. norvegica* (Dinophyceae) from Danish waters. *Phycologia* 32(1): 73-75.

Hasle, G.R. 1994. Pseudo-nitzschia as a genus distinct from Nitzschia (Bacillariophyceae). *J. Phycol.*, 30: 1036-1039.

Hasle G.R. & G.A. Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society* 89(4): 469-474.

Hernández-Becerril, D.U. & M.E. Meave del Castillo. 1999. A new dinoflagellate found in the Indian Ocean: link between *Amphisolenia* and *Triposolenia* (Dinophyceae). *Phycologia* 38: 108-113.

Hernández-Becerril, D.U., M. E. Meave del Castillo y C. Flores- Granados, 2003. Dinoflagelados del orden Dinophysiales en las Costas Mexicanas, Cap. 2:19-42. En: Barreiro-Güemes M.T., M. E Meave del Castillo y M. G. Figueroa-Torres (Eds.). *Planctología Mexicana*, 300p. Sociedad Mexicana de Planctología A. C. México. 283 p.

Hernández-Becerril D.U., G. Ceballos-Corona, K. Esqueda-Lara, M. Tovar-Salazar y D. León-Álvarez, 2004. Dinoflagelados del Orden Dinophysiales (Dinophyta) de las costas del Pacífico Tropical Mexicano. XIII Reunión Nacional SOMPAC y VI Reunión Internacional de Planctología. Del 25 al 28 de abril de 2004. Nuevo Vallarta, Nayarit. México.

Hernández-Becerril, D. U. & R. Alonso-Rodríguez. 2004. Study of the marine planktonic dinoflagellate *Ceratium divaricatum* (Dinophyceae), a confused and considerable variables species. *Phycological Research* 52: 346-354.

Jacobson, D. M. & R.A. Andersen. 1994. The discovery of mixotrophy in photosynthetically species of *Dinophysis* (Dinophyceae): light and electron microscopical observations of food vacuoles in *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* and two heterotrophic dinophysoid dinoflagellates. *Phycologia* 33(2):97-110.

Jørgensen, E. 1923. *Mediterranean Dinophysiaceae. Report of the Danish Oceanogr. Exped. Mediterr.* 2 (Biol.) J. 2: 1-48.

Krebs, C. 1994. Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. 4th Ed. Harper Collins College Pub. USA.

Krebs, C. 1998. Ecological Methodology. 2nd Ed. Addison Wesley Longman. New York, NY.

Kofoid, C.A. 1907. Dinoflagellata of the San Diego region. III. Descriptions of new species. *University of California Publications in Zoology*, 3 (13): 299-340, pl.22-33.

Kofoid, C.A. & T. Skogsberg. 1928. The Dinoflagellata: the Dinophysoidae. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard* 51: 1-766.

- Koike, K., K. Koike, M. Takagi, T., Ogata, & T. Ishimaru. 2000. Evidence of phagotrophy in *Dinophysis fortii* (Dinophysiales, Dinophyceae), a dinoflagellate that causes diarrhetic
- Korringa, P. & Roskam, R. T. (1961). An unusual case of mussel poisoning. *International council for the exploration of the sea. C.M./Shellfish Committee* 49, 2, pp. 121-124.
- Lee, J.S., Igarashi, T., Fraga, S., Dahl, E., Hovgaard, P. & T. Yasumoto. 1989. Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species. *Journal Applied. Phycology* 1: 147-152.
- Ludwig, J.A. & J.F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology. A primer on methods and computing. John Wiley. New York, NY.
- Lundholm, N., O. Moestrup, G.R. Hasle & K. Hoef-Emend. 2003. A study of the *P. pseudodelicatissima* / cuspidate complex (Bacillariophyta): What is *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*? *J. Phycol.* 39: 797-813.
- Martínez-Jasso, E. y M.E. Meave-del Castillo. 2002. Dinoflagelados del orden Dinophysiales Lindemann en el Pacífico Tropical Mexicano. Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Ficología y IV Reunión Iberoamericana de Ficología. Ponce, Puerto Rico. P33. 22 – 28 de septiembre.
- Matzenauer, L. 1933. Die Dinoflagellaten des In Dischen Ozeans (mit Ausnahme der Gatting Ceratium). *Bot. Arch.*35:437-510.
- Meave del Castillo, M. E. & D. U. Hernández-Becerril. 1998. Fitoplancton, Cap. 6: 59-74. In: M. Tapia-García (Ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D. F.
- Meave del C.,M.E., J.A. Aké, M.E. Zamudio y S.L. Guerra. 2000. Diatomeas Planctónicas Marinas de las Costas del Estado de Nayarit, México. p.p. 73-74. (Ríos, J.E; Juárez,C.E; Pérez, P.M; López, U.E; Robles, J.E; Hernández-Becerril, D y Silva, B.M, Eds.). En: *Estudios sobre Plancton en México y el Caribe*, SOMPAC – Universidad de Guadalajara.
- Meave del Castillo, M.E., Aké, C.A., Zamudio, R. M.E. & Guerra, M.S. (2001). Registro de Diatomeas Planctónicas de las Costas del Estado de Nayarit, México (Julio, 1999). *Scientia Marina* 3(2): 5-23
- Meave del Castillo, M.E., M.E. Zamudio Resendiz, J.A. Aké Castillo, S.Guerra Martínez y I.F. Barbosa Ledesma. 2003a. Biodiversidad de Diatomeas (Bacillariophyta) en la Columna de Agua del Pacífico Mexicano. p.p .43-84. En: Barreiro, T., M.E. Meave del Castillo, G. Figueroa-Torres y M. Signoret (Eds.). *Planctología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología, A.C. (SOMPAC). 284 p.
- Meave del Castillo, M. E., M. E. Zamudio, Y. Okolodkov, & I. H. Salgado Ugarte, 2003b. *Ceratium balechii* sp. Nov. (Dinophyceae: Gonyaulacales) from Mexican Pacific. *Hidrobiológica* 13: 75-91.
- Moita, M. T. & M.A. Sompayo. 1993. Are there in the genus *Dinophysis*. In Smoyda. T.J. & Shimizu, Y. [Eds] Toxic phytoplankton blooms in the sea. Elsevier, Amsterdam, pp: 153-158.
- Norris, D.R. 1969. Thecal morphoplogy of *Ornithocercus magnificus* (Dinoflagellata) with notes on related species. *Bulletin of Marine Science* 19 (1): 175- 193.
- Norris, D.R. & L.D. Jr Berner. 1970. Thecal morphology of selected species of *Dinophysis* (Dinoflagellata) from the Gulf of Mexico. *Contributions Marine. Science*. 15: 145-192.

Okolodkov, Y., M.E. Meave del Castillo y M.E., Zamudio-Resendiz. 2003 Diversidad de Dinoflagelados Planctónicos en el Pacífico Mexicano. Resúmenes del Congreso. p. 79. IV Congreso Mexicano de Fisiología. Mérida, Yucatán. 7-11 de abril.

Pesantes, F. 1978. Dinoflagelados del fitoplancton del golfo de Guayaquil. *Publ. INOCAR (Dept. Ciencias del Mar)* 2: 1-46.

Pielou, E.C. 1984. *The Interpretation of the Ecological Data. A primer on classification and ordination*. John Wiley. USA.

Reguera, B. & G.S. González. 2001. Small cell and intermediate cell formation in species of *Dinophysis* (Dinophyceae, Dinophysiales) *Journal Phycol.* 37, 318-333.

Schiller, J. 1931-1933. Dinoflagellatae (Peridineae) in: Rabenhorst, L. (Ed.) *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, (Flagellatae)* Sect. 3 fasc. 1-3:1-617. Akad. Verlagsges, Leipzig.

Schnepf, E. & M. Elbrächter. 1999. Dinophyte chloroplasts and phylogeny-a review. *Grana* 38: 81-97.

Silva, E. S. and M.A. Faus. 1995. Smalls cells an the life history of dinoflagellates (Dinophyceae): a review. *Phycologica* 34 (5):396-408.

Sournia, A. 1967. Contribution a la connaissance des Péridiniens Microplanctoniques du Canal de Mozambique. *Bulletin Du Museum National D'Histoire Naturelle*. 2e Série. Tomo 39 (2): 417-438.

Sournia, A. 1982. Is there a shade flora in the marine plankton? *Journal of Plankton Research* 4: 391-399.

Sournia, A. 1986. *Atlas du Phytoplancton Marin. Volume I. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées, Raphidophycées. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris. 216 p.

Steidinger, K.A. & K. Tangen. 1997. Dinoflagellates. pp: 387-584. In: (C.R. Tomas, Ed.), *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, San Diego.

Sterrengburg, F.A.S., M.E. Meave del Castillo & M.A. Tiffany. (2004) Studies on the genera *Gyrosigma* and *Pleurosigma* (Bacillariophyceae). *Pleurosigma* species in the plankton from Mexico's Pacific coasts. *Criptogamie Algologie*.

Taylor, F.J.R. 1976. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on material collected by the R.V. "Anton Bruun" 1963-1964. *Bibliotheca Botanica* 132. 234 pp., 46 pls.

Uchida, T., Y. Matsuyama, & T. Kamiyama. 1999. Cell fusion in *Dinophysis fortii* Pavillard. *Bull. Fish. Environ. Inland Sea* 1: 163-165.

Vargas-Montero, M. y E. Freer. 2004. Presencia de los dinoflagelados *Ceratium dens*, *C. fusus* y *C. furca* (Gonyaulacales: Ceratiaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Suppl. 1): 115-120.

Zingone, A., I. Percopo, P.A. Sims & D. Sarno. 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae) I.A examination of the type material of *S. costatum* with the description of *S. graville* sp. nov. *J. Phycol.* 41:140-150.

