



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



Caracterización biológica de *Durinskia baltica* (Dinophyceae:
Peridinales) en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac y factores
ambientales relacionados con su presencia

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias

(Limnología)

P r e s e n t a

Beatriz Irene Lira Hernández

Directora de Tesis: Dra. Rosaluz Tavera Sierra

Comité Tutorial: Dra. Ma. Esther Angélica Meave del Catillo

Dra. Ma. Lourdes Morquecho Escamilla

Jurado: Dra. Rosalba Alonso Rodríguez

Dr. Abel Sentíes Granados



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por brindarme todas las oportunidades para seguir avanzando en mi formación académica y por el apoyo complementario para la realización de la estancia de investigación realizada durante el último semestre de la Maestría, en la Universidad de Carolina del Norte en Charlotte.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT por el apoyo con la beca de No. de registro 377897 y el apoyo de beca mixta para la estancia de investigación realizada durante el último semestre de la Maestría, en la Universidad de Carolina del Norte en Charlotte.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía (Facultad de Ciencias, UNAM), que me brindó todas las facilidades de infraestructura para la realización del proyecto.

A mi directora de tesis la Dra. Rosaluz Tavera Sierra por su excelente guía y orientación siempre objetiva que me permitieron resolver las dificultades que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por tener siempre la paciencia y el tiempo para ayudarme a dar el siguiente paso en mi formación académica.

A los miembros de mi comité tutor y jurado, la Dra. Rosalba Alonso Rodríguez, la Dra. Ma. Esther Meave del Castillo, la Dra. Lourdes Morquecho Escamilla y el Dr. Abel Sentíes Granados por sus valiosas y atinadas observaciones que me ayudaron a mejorar consistentemente esta tesis.

Agradezco especialmente a la Dra. Ma. Esther Meave del Castillo por sus acertadas sugerencias y apoyo en el método de conteo.

Al Dr. Eberto Novelo Maldonado por sus valiosos consejos en el estudio de las algas los cuales han contribuido enormemente a mi formación académica.

A la M. en C. Guadalupe Vidal Gaona por su apoyo en el trabajo de laboratorio y la grata convivencia.

A los miembros del laboratorio de algas continentales, ecología y taxonomía: Marisela, Alejandra, Eleonor, Eva, Erika, Jimena, Raquel, Martha, Zitlali, Jorge, Diego y los que me hayan faltado, por hacerme sentir bienvenida desde el primer día de trabajo y su disposición para ayudar.

A la Dra. Edith Ponce Márquez por el apoyo técnico.

A la Dra. Olga Araceli Patrón Soberano y el Méd. Cir. Rodolfo Paredes Díaz por su apoyo en el procesamiento de muestras para microscopía electrónica en la Unidad de Microscopía del Instituto de Fisiología Celular, UNAM.

Al Dr. Matthew W. Parrow por la invaluable asesoría y las facilidades de infraestructura y materiales brindadas durante la estancia de investigación en su laboratorio del departamento de biología en la Universidad de Carolina del Norte en Charlotte. A la Dra. Susan Carty por la revisión taxonómica de las especies de dinofitas citadas en esta tesis.

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Carlos Enrique y Beatriz por su incondicional apoyo en todos los sentidos, les agradezco por trabajar junto conmigo codo con codo durante estos dos duros años, ustedes son el motor que me impulsa a seguir adelante para seguir su ejemplo de trabajo y esfuerzo, gracias.

A mis hermanos Mireya y Carlos, gracias por apoyarme siempre y brindarme su reconocimiento e incondicional amor.

A mis abuelos, tíos, tías, primos, primas y amigos, muchas gracias por estar siempre pendiente de mi desarrollo, por sus buenos deseos y apoyo.

Índice

Agradecimientos.....	1
Dedicatorias.....	3
Índice.....	3
Resumen.....	11
Summary.....	16
1. Introducción.....	17
1.1 Generalidades del ciclo de vida de dinofitas.....	19
1.2 Florecimientos de dinofitas.....	20
2. Antecedentes.....	21
3. Justificación.....	23
4. Preguntas de investigación.....	24
5. Objetivos.....	25
5.1 Objetivo general.....	25
5.2 Objetivos particulares.....	25
6. Material y métodos.....	26
6.1 Área de estudio.....	26
6.2 Métodos de recolección.....	26
6.2.1 Variables ambientales en la columna de agua.....	29
6.3 Estructura y métodos de análisis.....	29
6.3.1 Identificación del fitoplancton.....	29
6.3.2 Conteo de fitoplancton.....	29
6.3.3 Identificación de dinofitas.....	29
6.3.4 Caracterización morfológica de <i>Durinskia baltica</i>	30
6.3.5 Microscopia electrónica de barrido (MEB).....	30
6.3.6 Microscopia electrónica de transmisión (MET).....	31

6.3.7	Documentación del ciclo de vida de <i>Durinskia baltica</i>	31
6.3.8	Conteo de células vegetativas de <i>Durinskia baltica</i>	32
6.3.9	Conteo de quistes de resistencia de <i>Durinskia baltica</i>	32
6.3.10	Cuantificación de clorofila-a.....	32
6.3.11	Registro de variables climáticas.....	33
6.3.12	Determinación de nutrimentos	33
6.4	Análisis estadístico de datos.....	33
7.	Resultados	35
7.1	Composición de especies del fitoplancton y relación de sus densidades con <i>Durinskia baltica</i>	35
7.2	Composición de especies y características morfológica de dinofitas.....	40
7.3	Descripción de <i>Durinskia baltica</i>	44
7.4	Conformación de la teca de <i>Durinskia baltica</i>	48
7.5	Estructura celular de <i>Durinskia baltica</i>	50
7.6	Etapas del ciclo de vida de <i>Durinskia baltica</i>	51
7.7	Densidad celular y quistes de resistencia de <i>Durinskia baltica</i>	54
7.7.1	Densidad de células vegetativas	54
7.7.2	Densidad de quistes de resistencia	55
7.8	Relación entre el florecimiento de <i>D. baltica</i> y la comunidad fitoplanctónica (evaluada como concentración de clorofila-a).....	57
7.9	Variables climáticas	59
7.10	Resultados de análisis estadísticos de datos	60
7.10.1	Análisis del efecto de los factores ambientales (variables abióticas del cuerpo de agua) sobre el fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a.....	60
7.10.1.1	Canal de “El Japón”	60
7.10.1.2	Sitio TE, laguna de Tláhuac	62
7.10.1.3	Sitio TM, laguna de Tláhuac	64

7.10.1.4	SitioTS, laguna de Tláhuac.....	65
7.10.2	Análisis del efecto de los factores ambientales (variables abióticas del cuerpo de agua) sobre la densidad celular y la densidad de quistes	67
7.10.2.1	Densidad celular de <i>Durinskia baltica</i> y factores ambientales.....	67
7.10.2.2	Densidad de quistes de resistencia de <i>Durinskia baltica</i> y factores ambientales	69
7.10.3	Correlación parcial entre la densidad celular de <i>Durinskia baltica</i> en estado vegetativo y en estado de quiste, en la zona de xochimilco-tláhuac.....	70
8.	Discusión.....	71
8.1	La zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac	71
8.1.1	Estado de la cuenca y calidad del agua	71
8.2	Composición de especies del fitoplancton	72
8.3	Morfología y características taxonómicas de <i>Durinskia baltica</i>	73
8.4	Biología y ecología general de <i>Durinskia baltica</i>	77
8.5	Evaluación ecológica con base en modelos de regresión	78
8.5.1	Análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a	78
8.5.1.1	Canal de El japon	78
8.5.1.2	Laguna de Tláhuac	78
8.6	Ecología de <i>D. baltica</i> en la ZLX-T, a través de la construcción de modelos de regresión lineal multivariados.....	79
8.6.1	Análisis de regresión evaluando las densidades de <i>D. baltica</i>	79
9.	Conclusiones	81
10.	Referencias	83
	Anexo 1. Modelos de regresión para predecir el comportamiento de los factores ambientales (variables abióticas) sobre la concentración de clorofila-a como variable biológica.....	94
	Anexo 1.1. Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Xochimilco (canal de El Japon).....	94
	Anexo 1.2. Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TE)	96

Anexo 1.3 valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TM).....	99
Anexo 1.4 valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TS)	101
Anexo 2. Valores completos del modelo de regresión entre la densidad celular y de quistes de resistencia de <i>D. baltica</i> y los factores ambientales en el sitio de el japon.....	103
Anexo 2.1 valores completos del modelo de regresión entre la densidad celular de <i>D. baltica</i> y los factores ambientales	103
Anexo 2.2 valores completos del modelo de regresión entre la densidad de quistes de resistencia de <i>D. baltica</i> y los factores ambientales	105
Anexo 3. Correlación parcial entre la densidad celular de en estado vegetativo y en estado de quiste, en la zona de Xochimilco-Tláhuac.....	107
Anexo 4. Modelos de correlación bivariada entre la concentración de clorofila-a como variable biológica y densidad de células de <i>D. baltica</i>	108
Anexo 4.1 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio de Xochimilco (canal de El Japón)	108
Anexo 4.2 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio de Tláhuac (TE)	108
Anexo 4.3 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio de Tláhuac (TM).....	109
Anexo 4.4 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio de Tláhuac (TS).....	109
Anexo 5. Concentraciones de nutrimentos registradas de septiembre de 2010 a agosto de 2011.....	109

Lista de figuras

Figura 1. Ciclo de vida de un dinoflagelado productor de quistes: 1) célula vegetativa 2) fusión sexual 3) proceso de formación del quiste 4) quiste en reposo 5) meiosis. (Tomado de Marine-Genomics-Europe.org, 2010).....	19
Figura 2. Puntos de colecta en Laguna de los Reyes Aztecas, Tláhuac. TE (entrada), TM (media laguna), TS (salida).	27
Figura 3. Sitio de colecta en la zona de Xochimilco, canal El Japón (XJ).....	28

Figura 4. Morfología de la teca de <i>P. aciculiferum</i> var. <i>inerme</i> Woloszynska. a) vista ventral; b) vista dorsal; d) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.	40
Figura 5. Morfología de la teca de <i>Peridiniopsis berolinense</i> (Lemmermann) Bourrelly. a) vista ventral; b) vista dorsal; c) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.	41
Figura 6. Morfología de la teca de <i>Glochidinium penardiforme</i> (Linndeman) Boltovskoy. Modificado de Boltovskoy, 1999.	42
Figura 7. Morfología de la teca de <i>Peridiniopsis penardiforme</i> (Lindemann) Bourelly. a) vista ventral; b) vista dorsal; c) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.	42
Figura 8. Morfología de la teca de <i>Peridiniopsis lomnickii</i> var. <i>splendida</i> (Woloszynska) Lindemann. a) vista ventral; b) vista dorsal; vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.	43
Figura 9. Especies de dinofitas identificadas en Xochimilco (estructura interna). a) <i>Peridinium aciculiferum</i> var. <i>inerme</i> Woloszynska. b) <i>Peridiniopsis berolinense</i> (Lemmermann) Bourrelly. c) <i>Glochidinium penardiforme</i> (Linndeman) Boltovskoy. d) <i>Peridiniopsis penardiforme</i> (Lindemann) Bourelly. e) <i>Peridinium lomnickii</i> var. <i>splendida</i> (Woloszynska) Lindemann.	44
Figura 10. Morfología de la célula vegetativa de la dinofita dominante (células vivas) y diferentes estructuras presentes en ella. a) fl: flagelo longitudinal; b) d: dinocarion; c) ac: cuerpos rojos de acumulación; d) c: cloroplastos, e: estigma. imágenes tomadas de las muestras: DFXo-225, DFXo-226, DFXo-227 y DFXo-228.	45
Figura 11. Fórmula de la teca de <i>D. baltica</i> en vista ventral (a); vista dorsal (b); vista apical (c); vista antapical (d).	46
Figura 12. Fotografías de microscopio fotónico de la teca de <i>D. baltica</i> . vista ventral (a, b); vista dorsal (c, d); vista antapical (e, f); vista apical (g, h); placas precingulares (i,j); imágenes tomadas de las muestras: DFXo-224 y DFXo-225.	46
Figura 13. Morfología de quistes de resistencia de <i>D. baltica</i> . a) tenue forma de placa 1' (flecha). b) estigma en zona lateral (flecha). c) pared gruesa que recubre al cigoto. d) no se distinguen placas de la tabulación de la célula vegetativa. Imágenes tomadas de las muestras: DFXo-231.1 y DFXo-238.2. ...	47
Fig. 14 Apariencia de la teca de <i>D. baltica</i> . a) Tabulación en vista ventral, lateral izquierda. b) tabulación en vista ventral, lateral derecha.	48
Figura 15. Esquema de la forma y disposición de placas sulcales de <i>D. baltica</i>	49
Figura 16. Imágenes de meb para la descripción de la forma y posición de las placas sulcales de <i>D. baltica</i> . a) vista ventral lateral derecha: sa (sulcal anterior); si (sulcal izquierda); sd (sulcal derecha); sp (sulcal posterior). b) vista ventral de <i>D. baltica</i>	49

Figura 17. Estructura interna de <i>D. baltica</i> . a) nd: dinocarion, cc: cromosomas condensados, ne: núcleo eucariótico, ag: aparato de golgi, e: estigma, c: cloroplastos, m: mitocondria, a: gránulos de almidón. b) ag: aparato de golgi, v: vesículas. c) e: estigma, pu: púsula, v: vesícula pusular.....	50
Figura 18. Mitosis completa de <i>D. baltica</i> . a) profase (referencia de herbario: DFXo-223.3). b) metafase (referencia de herbario: DFX-217.3). c) anafase temprana (referencia de herbario: DFXo-228.4). d) anafase tardía (referencia de herbario: DFXo-217.3). e) telofase (referencia de herbario: DFXo-229.2). f-g) citocinesis (referencias de herbario: DFXo-232.2 y dfxo-237.2). h) células hijas (referencia de herbario: DFXo-239.1).....	51
Figura 19. Esquema del proceso de reproducción asexual de <i>D. baltica</i>	52
Figura 20. Reproducción sexual de <i>D. baltica</i> . a) reconocimiento (referencia de herbario: DFXo-224.4). b) orientación perpendicular de los pares cingulares (referencia de herbario: DFXo-224.1). c-d) fusión de núcleos (referencia de herbario: DFXo-224.4 y DFXo-232.1). e-f) formación del pre-planocigoto (referencia de herbario: DFXo-224.4 y dfxo-232.1). g-h) planocigoto (referencia de herbario: DFXo-224.4 y DFXo-224.1).....	53
Figura 21. Representación esquemática del proceso de reproducción sexual de <i>D. baltica</i>	54
Figura 22. Variación estacional de la densidad de células vegetativas de <i>D. baltica</i> en Xochimilco (canal de El japon) y Tláhuac (TE, TM y TS) de septiembre-diciembre de 2010 y enero-agosto de 2011.	55
Figura 23. Variación estacional de la densidad de quistes de resistencia de <i>D. baltica</i> en los sitios de Xochimilco (canal de El Japon) y Tláhuac (TE, TM y TS) de diciembre de 2010 y enero-agosto de 2011.....	56
Figura 24. relación de las variaciones estacionales de células vegetativas y quistes de resistencia de <i>D. baltica</i> en el sitio del canal de El Japon (Xochimilco) de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.	57
Figura 25. Relación entre las concentraciones de clorofila-a y las densidades de <i>D. baltica</i> en los 4 sitios de recolección de septiembre de 2010 a agosto de 2011. a) canal de El Japon (Xochimilco). b) TláhuacE. c) TláhuacM. d) TláhuacS. Se anotan los valores de correlación de Pearson y el valor de significancia estadística (Anexo 1).....	58
Figura 26. Relación entre las densidades de <i>D. baltica</i> en el sitio de El Japon y la temperatura ambiental durante el periodo de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.....	59
Figura 27. Relación entre las densidades de <i>D. baltica</i> en el sitio de El Japon y la precipitación durante el periodo de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.....	60
Figura 28. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de El Japon. a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c)	

dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	61
Figura 29. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TE (Tláhuac). a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c) dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	63
Figura 30. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TM (Tláhuac). a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c) dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	64
Figura 31. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TS (Tláhuac). a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c) dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	66
Figura 32. Resultados gráficos del análisis de regresión de la densidad celular de <i>D. baltica</i> y factores ambientales en el canal de El Japón. a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c) dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	68
Figura 33. Resultados gráficos del análisis de regresión de la densidad de quistes de <i>D. baltica</i> y factores ambientales en el canal de El Japón. a) gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. b) gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. c) dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de sd).	69
Figura 34. arriba: <i>Durinskia baltica</i> como <i>Glenodinium cinctum</i> Ehrenberg. (a) vista ventral, (b) vista apical, (c) vista antapical, (d) vista dorsal (según levander, 1892). abajo: <i>Durinskia baltica</i> como <i>Peridinium dybowskii</i> Woloszyńska (según Woloszyńska, 1916). (a) vista ventral, (b) vista izquierda dorsal. (c) vista apical, (d) vista dorsal (Tomado de Carty y Cox, 1986).....	75
Figura 35. MEB de <i>Durinskia baltica</i> tomado de Carty y Cox (1986). 11) vista apical con las placas numeradas;12) vista ventral-apical en la que se ve el poro apical; 13) vista ventral apical;14) vista antapical.	76

Lista de tablas

Tabla 1. Calendario de recolecciones de septiembre-diciembre de 2010 y enero-septiembre de 2011.	27
Tabla 2. Especies cuantificadas en el canal de El Japón (Xochimilco) con valores altos de densidad de <i>D. baltica</i>	36
Tabla 3. Especies cuantificadas en el canal de El Japón (Xochimilco) con valores bajos de densidad de <i>D. baltica</i>	37
Tabla 4. Porcentajes de densidad fitoplanctónica con valores altos y bajos de densidad de <i>D. baltica</i> en el canal de El Japón (Xochimilco).	37
Tabla 5. Especies cuantificadas en el canal de TS (Tláhuac) con valores altos de densidad de <i>D. baltica</i>	38
Tabla 6. Especies cuantificadas en el canal de TS (Tláhuac) con valores bajos de densidad de <i>D. baltica</i>	39
Tabla 7. Porcentajes de densidad fitoplanctónica con valores altos y bajos de densidad de <i>D. baltica</i> en Tláhuac S.	39
Tabla 8. Fechas de observación de etapas del ciclo asexual de <i>D. baltica</i>	52
Tabla 9. Fechas de observación de etapas del ciclo sexual de <i>D. baltica</i>	54
Tabla 10. Tabulación del género <i>Durinskia</i> en comparación con los géneros <i>Peridinium</i> , <i>Peridiniopsis</i> y <i>Glenodinium</i>	74
Tabla 11. Basionimios y Sinónimos de <i>Durinskia baltica</i> (Levander) Carty et Cox (1986).	75
Tablas Anexos.	93
Tabla 1. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del modelo de estadística descriptiva del canal de El Japón.	94
Tabla 2. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.	94
Tabla 3. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.	95
Tabla 4. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.	95
Tabla 5. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.	95
Tabla 6. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.	96

Tabla 7. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TE.....	96
Tabla 8. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.....	97
Tabla 9. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.....	97
Tabla 10. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.....	98
Tabla 11. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.....	98
Tabla 12. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.....	98
Tabla 13. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TM.....	99
Tabla 14. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.....	99
Tabla 15. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.....	100
Tabla 16. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.....	100
Tabla 17. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.....	100
Tabla 18. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.....	101
Tabla 19. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TS.....	101
Tabla 20. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.....	101

Tabla 21. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.	102
Tabla 22. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.	102
Tabla 23. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.....	102
Tabla 24. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.	102
Tabla 25. Valores de la media y desviación estándar para las variables nitrato, fósforo y temperatura del modelo de estadística descriptiva de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	103
Tabla 26. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	103
Tabla 27. Valores del resumen del modelo para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	104
Tabla 28. Valores del modelo de ANOVA para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	104
Tabla 29. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	104
Tabla 30. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de <i>D. baltica</i>	105
Tabla 31. Valores del resumen del modelo para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de <i>D. baltica</i>	105
Tabla 32. Valores del modelo de ANOVA para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de <i>D. baltica</i>	105
Tabla 33. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de <i>D. baltica</i>	106
Tabla 34. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de <i>D. baltica</i>	106
Tabla 35. Valores del modelo de correlación parcial de Pearson y significancia para las variables densidad de quistes y densidad de células de <i>D. baltica</i> en la zona de Xoxhimilco-Tláhuac.....	107
Tabla 36. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio de Xochimilco (canal de El Japón).....	108
Tabla 37. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio Tláhuac (TE).....	108

Tabla 38. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio Tláhuac (TM).....	109
Tabla 39. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de <i>D. baltica</i> en el sitio Tláhuac (TS).....	109
Tabla 40. Concentraciones de nutrimentos del sitio del canal El Japón (Xochimilco).....	109
Tabla 41. Concentraciones de nutrimentos del sitio TE (Laguna de Tláhuac).....	109
Tabla 42. Concentraciones de nutrimentos del sitio TM (Laguna de Tláhuac).....	110
Tabla 43. Concentraciones de nutrimentos del sitio TS (Laguna de Tláhuac).....	110

Resumen

Existen muy pocos estudios taxonómicos, biológicos y ecológicos de dinofitas de agua dulce en México. Desde nuestros primeros estudios en 2007 en la zona lacustre de la ciudad de México (Tavera y Díez, 2009), hemos observado la presencia constante de *Durinskia baltica*. Aunque en algunos cuerpos de agua forma poblaciones poco numerosas, en una localidad (canal “El Japón”) presenta florecimientos en primavera y verano. En esos cuerpos de agua se analizó durante un año la composición del fitoplancton, simultáneamente con variables acuáticas. También se recopiló información climática a través del Sistema Meteorológico Nacional. Especialmente se analizó la variación en la densidad poblacional de quistes de resistencia en sedimentos y de células vegetativas de en la columna de agua. Fue posible reconocer *in situ* la mayoría de las etapas del ciclo de vida. En algunas observaciones *in vivo*, se documentaron el acoplamiento y fecundación de los gametos, así como la formación del planocigoto. Se realizó un análisis de regresión múltiple con las variables biológicas y ambientales y se generó un modelo matemático que postula que las variaciones en la temperatura y en las concentraciones de nitrógeno son los principales parámetros que regulan la presencia de los quistes y de las células vegetativas en los sedimentos y en la columna de agua. Esto puede explicar los florecimientos estacionales de esta especie, así que discutimos el papel de la germinación de quistes en la producción de florecimientos de las dinofitas. Las principales aportaciones de este estudio son el registro de las fases del ciclo de vida *in situ* (reproducción asexual y sexual, con una documentación gráfica de la división mitótica) y la construcción de un modelo de regresión sobre la ecología de en agua dulce, y es la primera vez que la estructura interna y externa de la célula de esta especie se documenta para México, tanto con microscopía fotónica como con microscopía electrónica de transmisión y de barrido.

Palabras clave: Dinofitas, florecimientos, factores ambientales, células vegetativas, quistes de resistencia.

Summary

There are very few taxonomic, biological and ecological records of freshwater Dinophyta in Mexico. Since our first studies in 2007 in the lake district of Mexico City (Tavera & Díez, 2009), we have observed the constant presence of *Durinskia baltica*. Although in some bodies of water forms small populations in a locality (“El Japón” channel) has a bloom in spring and summer.

In these water bodies were analyzed for one year the total composition of phytoplankton, concurrently with aquatic variables. Climate information was also collected through the National Meteorological System. Especially we analyzed the variations in population density of resting cysts in sediments and vegetative cells in the water column. It was possible to recognize in situ most life cycle stages. In some in vivo observations were documented mating and fertilization of the gametes and the formation of the planozygote. We performed a multiple regression analysis of biological and environmental variables and generated a mathematical model which postulates that the variations in temperature and nitrogen concentrations are the main parameters regulating the resistance cyst and vegetative cells presence in sediments and in water column. This may explain the seasonal pulse density of this species (blooms), so we discussed the role of germination of cysts in the production of blooms of dinophytes.

The main contributions of this study are the record of the life cycle phases in situ (asexual and sexual reproduction, with a graphic documentation of the mitotic division) and the construction of a regression model of the ecology of in fresh water, and is the first time the internal and external structure of the cell is documented for Mexico, both photon microscopy and transmission electron microscopy and scanning.

Key words: Dinophytes, Blooms, environmental factors, vegetative cells, resistance cyts.

1. Introducción

En los ecosistemas epicontinentales, los dinoflagelados son componentes importantes de la flora algal ya que forman parte de la comunidad de productores primarios del sistema y poseen características particulares que les permiten desarrollarse y crecer de forma abundante bajo condiciones adversas (Pollinger, 1987; Regenfors y Legrand, 2001; De Souza-Cardoso *et al.*, 2010), especialmente cambios en la temperatura (Dale, 1983), duración del día (Sgrosso *et al.*, 2001), periodos de alta densidad vegetativa (en florecimientos), (Garcés *et al.*, 2004) y limitación de nutrientes (Pfiester y Anderson, 1987; Chapman y Pfiester, 1995; Ichimi y Montani, 2001; Garcés *et al.*, 2004).

Sin embargo a pesar de que existen entre 200 y 300 especies de dinofitas de aguas continentales, no han recibido la atención suficiente en cuanto a su caracterización taxonómica, biológica y ecológica en comparación con sus contrapartes marinas (Pfiester y Popovsky 1979; Pfiester y Lynch 1980; Carty y Cox, 1986; Grigorszky, 2003), generando la impresión de que los dinoflagelados dulceacuícolas son poco dominantes y de distribución restringida (Ngô y Pfiester, 1990).

Las dinofitas marinas producen mareas rojas, que son florecimientos comúnmente asociados con problemas de toxicidad que repercuten en la salud pública y en la economía; además los fósiles son utilizados como marcadores estratigráficos (Carty y Cox, 1986); sin embargo las dinofitas de ambientes continentales carecen de estas propiedades lo que ha provocado una falta de interés en su estudio.

Con respecto a la producción de toxinas hay cierta controversia; Carty (2003) opina que las dinofitas de agua dulce no producen toxinas, sin embargo existen casos aislados que prueban la presencia de florecimientos tóxicos en ambientes dulceacuícolas (Adachi, 1965; Hashimoto *et al.*, 1968; Jurgens, 1953; Regenfors y Legrand, 2001). Un ejemplo es la especie *Peridiniopsis polonicum* (Woloszynska) Bourrelly la cual fue reportada por Adachi (1965) como causante de la muerte de peces en un reservorio en El Japón. Posteriormente en 1995 Mills *et al.*, reportaron la sospecha de toxinas algales liberadas por dinoflagelados como responsables de la muerte de peces en un laguna artificial acidificado en Suecia, mas tarde Regenfors (1998) indica que la especie con un potencial para producir ictiotoxicidad es *Peridinium aciculiferum* Lemmermann la cual se encuentra en grandes cantidades en las comunidades de fitoplancton de invierno. Sin embargo, no se ha comprobado que las dinofitas que florecen en lagunas y reservorios presenten una dinámica poblacional equivalente al de los florecimientos algales nocivos (FAN) que se desarrollan en ambientes marinos.

En América del Norte se conocen 11 especies dulceacuícolas tecadas y 13 atecadas de dinoflagelados dulceacuícolas; de las cuales sólo *Peridinium gatunense* Nygaard, *Peridinium limbatum* (A. Stokes)

Lemmermann y *Ceratium carolineanum* (Bailey) Jørgensen han sido encontradas en otras regiones del mundo (regiones templadas de Europa). *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Bergh y *Peridiniopsis polonicum* (Woloszynska) Bourrelly se han registrado en lagunas grandes de aguas alcalinas eutróficas. Otros reportes ubican frecuentemente a las dinofitas a lo largo del Caribe y Centro América, particularmente en México y Cuba (Carty y Wujek, 2003). En México aún son muy pocas las investigaciones realizadas en aguas continentales con dinofitas, por ello Ortega (1984) sólo menciona 14 especies de dinofitas en ambientes continentales del Distrito Federal, Estado de México, Michoacán, Jalisco y Puebla.

Esta falta de información es notable en lagos y reservorios urbanos, que sufren de diversas problemáticas de manejo antrópico, lo que altera la calidad del agua y afecta la composición y estructura de las comunidades bióticas. Para entender la dinámica particular de las dinofitas que habitan estos sistemas, es necesario llevar a cabo estudios integrales que describan la biología y ecología de estos organismos, ya que al parecer las condiciones de eutrofia promueven la formación de florecimientos algales (Grigorszky *et al.*, 2000; Grigorszky *et al.*, 2003; Grigorszky *et al.*, 2006) que pueden interferir con el uso del recurso acuático en estos sistemas (Pollinger, 1986; Zohary *et al.*, 1998; Flaim *et al.*, 2003).

En México hay muchos ejemplos de cuerpos acuáticos urbanos y semiurbanos con grandes problemas de eutrofización generada por el enriquecimiento continuo con productos de desecho de actividades agrícolas, pecuarias y descarga directa de aguas de drenaje (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003). Uno de estos claros ejemplos es la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, en donde hay pocos trabajos que describen las relaciones ecológicas del fitoplancton con las condiciones eutróficas (Tavera *et al.* 2000; Tavera y Díez 2009). Esto se debe en parte a las diversas dificultades que se presentan al estudiar un ecosistema tan variable, a causa de la sobreexplotación y contaminación (calidad del agua). En esta zona la contaminación se ha intensificado debido a que en algunos sitios se vierte directamente el drenaje doméstico local, aguas de desecho industrial, aguas de riego de las chinampas fertilizadas artificialmente y aguas negras provenientes de las delegaciones políticas vecinas. Además, para restablecer el nivel de agua de los canales de los que depende el sector agrícola y pecuario de la población nativa, se utiliza la descarga directa de aguas tratadas provenientes de diferentes puntos (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003; Pedroza-Pichardo, 2007).

1.1 Generalidades del ciclo de vida de dinofitas

Para poder entender la dinámica de los florecimientos de dinofitas en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, es necesario conocer las características morfológicas y biológicas particulares de cada una de las especies que conforman el florecimiento, para posteriormente relacionar su presencia y abundancia con los factores ambientales que podrían estar regulando su presencia en el ambiente.

Como una introducción general a las características y ciclo de vida de este grupo, es importante mencionar que todas las células vegetativas de dinoflagelados planctónicos o bentónicos hasta ahora conocidos, con excepción de *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, son protistas haploides (Graham y Wilcox, 2000).

Solo en condiciones adversas para la célula se producen gametos de ambos sexos que al fusionarse dan lugar a un cigoto diploide ($2n$) o planocigoto. Este planocigoto es móvil y se transforma en un hipnocigoto o quiste de resistencia (Figura 1, Anexo1), que permanece en latencia o periodo de reposo y contiene sustancias de reserva, también con frecuencia presenta una mancha rojiza (Graham y Wilcox, 2000).

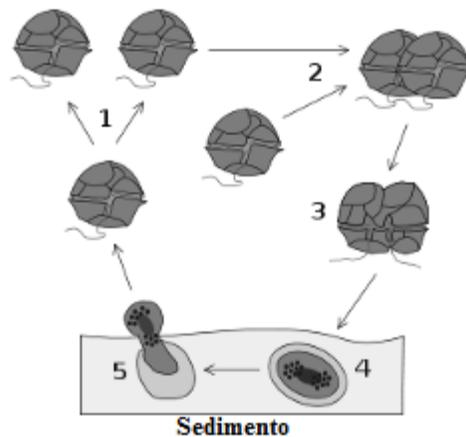


Figura 1. Ciclo de vida de un dinoflagelado productor de quistes: 1) célula vegetativa 2) fusión sexual 3) proceso de formación del quiste 4) quiste en reposo 5) meiosis. (Tomado de restosdealgas.blogspot.mx, 2008).

Muchas especies de dinoflagelados permanecen durante un periodo relativamente corto en estado planctónico en la columna de agua, pues pasan casi todo su ciclo de vida en los sedimentos, como alguno de los dos tipos de células de resistencia que corresponden con los quistes temporales y los quistes de resistencia (Matsuoka y Fukuyo, 2000); estos últimos pasan la mayoría del tiempo en forma de quistes latentes (hipnocigotos) (Dale, 1983; Kremp *et al.*, 2003).

Los quistes de resistencia representan la fase latente del ciclo para muchos dinoflagelados y les permite sobrevivir en ambientes desfavorables (Pfiester y Anderson, 1987; Binder y Anderson, 1990; Nuzzo y Montresor, 1999; Matsuoka y Fukuyo, 2000). Este mecanismo es una estrategia muy importante que contrarresta los efectos de los cambios ambientales y les da oportunidad de sobrevivir hasta que las condiciones vuelven a ser favorables; y entonces regresan a la columna de agua como la fase móvil (Piot *et al.*, 2008).

Los quistes de resistencia también permiten ampliar el área de distribución de la especie por medio de su dispersión. El hecho de que sean tan resistentes permite que puedan ser transportados de una forma viable de una zona a otra en la que se pueda desarrollar la fase móvil (Gonzales-Gil, 1994), contribuyen a la variación genética de la población (Regenfors y Anderson, 1998) y pueden ser un mecanismo de defensa contra la depredación, dada la resistencia que tienen sus paredes y la tendencia de los quistes a depositarse en el sedimento (Dale, 1983).

Por otra parte, los quistes de resistencia desempeñan un papel muy importante en la formación de florecimientos (Matsuokay Fukuyo, 2000), ya que según varios autores proporcionan un inóculo inicial a la columna de agua, que promueve el restablecimiento de una población vegetativa (Steidinger, 1975; Blanco, 1989; Rigby *et al.*, 1993; Regenfors y Anderson, 1998; Bravo *et al.*, 2010).

1.2 Florecimientos de dinofitas

Los cuerpos de agua eutróficos e hipertróficos usualmente sostienen un promedio alto de biomasa algal ya que frecuentemente se ha referido que los niveles altos de nutrientes inorgánicos, son factores necesarios para desencadenar florecimientos (Whiting *et al.*, 1978). La concentración de estos nutrientes aumenta por descargas de drenaje, uso de fertilizantes, dragado o remoción de sedimentos, deposiciones atmosféricas y cambios en el uso de suelo, es por esto que los ambientes acuáticos relacionados con estos problemas están ligados con florecimientos persistentes, tanto de dinofitas como de otras algas (Anderson *et al.*, 2002) como cianobacterias, diatomeas, cianofitas y dinoflagelados (Song *et al.*, 2010).

A pesar de que las dinofitas en aguas continentales generalmente constituyen una minoría en la comunidad fitoplanctónica en lagunas templadas, algunas especies son capaces de desarrollar florecimientos y dominar completamente a la comunidad fitoplanctónica a finales del verano en esas lagunas (Regenfors y Legrand, 2001). La mayoría de los florecimientos de dinofitas en aguas continentales son unialgales y generalmente son inocuos (Smayda, 1997).

La densidad de dinoflagelados en un cuerpo de agua está relacionada tanto con los factores que promueven el crecimiento (referido como “bottom-up” en la literatura en inglés), como con los factores que causan su pérdida en el ecosistema (referido como top-down en la literatura en inglés).

Los factores que promueven el crecimiento (bottom-up) incluyen la concentración de nutrientes inorgánicos (fósforo y nitrógeno principalmente), vitaminas, la variación en la intensidad luminosa, concentración de oxígeno, temperatura, pH (cuyo efecto es muy variable dependiendo de la especie) y el desarrollo momentáneo de la población vinculado con los quistes formados en los florecimientos previos, que eventualmente servirán como inóculo de los nuevos florecimientos por surgir (Pollinger, 1987; Popovsky y Pfiester, 1990; Carty, 2003). La sincronización, intensidad y duración del florecimiento depende de factores como la turbulencia, la cual re-suspende a los quistes del sedimento (Pollinger y Hieckel, 1991) y la profundidad del agua, ya que en lagunas someras hay tasas más altas de eclosión que en lagunas profundas (Sanderson y Frost, 1996).

Los factores que causan pérdida de células (top-down) incluyen la depredación, las enfermedades, la formación de nuevos quistes y ‘salidas del sistema’ (disminución de la densidad celular en la columna de agua), generadas por el pastoreo y sedimentación (Zohary *et al.*, 1998; Carty, 2003).

2. Antecedentes

Los mecanismos de florecimiento en dinofitas de aguas continentales han generado el interés de diversos investigadores a nivel mundial. Uno de los primeros trabajos acerca de estos mecanismos fue el realizado por Bibby y Dodge (1972), y consistió en el estudio mediante microscopía óptica y electrónica del enquistamiento del dinoflagelado continental *Woloszynskia tylota* (Mapletoft, J.Waters & P.Wells) B.T.Bibby & J.D.Dodge.

Sako y colaboradores (1984, 1987) describieron la reproducción sexual y formación de quistes de los dinoflagelados *Peridinium cunningtonii* (Lemmermann) Lemmermann 1910 y *Peridinium penardii* (Lemmermann) Lemmermann para explicar los florecimientos estacionales en estanques artificiales de Nagase (Japón). Estos autores, también relacionaron los cambios ambientales con estas etapas del ciclo de vida, concluyendo que los quistes de resistencia de *P. cunningtonii* son producidos cuando en el medio hay una disminución de nitrógeno y fósforo, una iluminación de 5,000 a 10,000 lx y una temperatura de 15 a 20°C. En este caso el quiste no se produce en obscuridad continua como en otras especies de dinoflagelados. Desde el punto de vista ecológico el enquistamiento de *P. cunningtonii* juega un papel muy importante en la formación del florecimiento en el embalse de Nagase en El Japón (Sako *et al.*, 1984;

Sako *et al.*, 1987). En relación a *Peridinium penardii* al igual que con *Peridinium cunningtonii*, estos autores concluyen que los factores ambientales que influyen la reproducción sexual y el enquistamiento son la disminución de nutrientes, seguida de cambios en luz y temperatura.

Otras investigaciones sobre la producción de quistes se concentraron en los efectos del ambiente (Park y Hayashi, 1992; 1993). Sobre esta línea, Regenfors y Anderson (1998), estudiaron la regulación endógena y ambiental en la germinación de quistes de los dinoflagelados *Peridinium aciculiferum* Lemmermann y *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin en la laguna Erken en Suiza, que presenta un estado eutrófico natural; concluyendo que a pesar que en la comunidad fitoplanctónica existía una dominancia de *P. aciculiferum* en el invierno y de *C. hirundinella* en el verano, ambas especies pasaban la mayor parte del año como quistes, en el bentos y que tres eran los factores que controlaban la producción del florecimiento en una determinada época del año: la temperatura, el periodo de inactividad del quiste y quizá una señal endógena del mismo, que regula el momento de germinación con la consecuente aparición de células vegetativas en el plancton.

De esta manera los estudios más recientes sobre florecimientos de dinoflagelados dulceacuícolas se han enfocado en los factores que determinan la generación de quistes para entender los mecanismos que provocan sus florecimientos (Nuzzo y Montresor, 1999; Kremp y Anderson, 2000; Kishimoto *et al.*, 2001; Sgrosso, *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002; 2007, Xu *et al.*, 2010).

En el área de Xochimilco-Tláhuac es muy escasa la información sobre la descripción biológica y ecológica de especies de dinofitas, ya que aunque existen estudios del fitoplancton no se ha realizado alguno con interés particular en el grupo de las dinofitas.

Entre los trabajos que señalan la presencia de este grupo en la zona, se puede citar el Catálogo de algas continentales recientes de México (Ortega 1984), en donde se reportan los siguientes 4 taxa en localidades no especificadas de Xochimilco y Tláhuac: *Gymnodinium* sp. (Tláhuac y Xochimilco); *Peridinium* sp. (Tláhuac y Xochimilco); *Sphaerodinium cinctum* (Ehrenberg) Woloszynska (Xochimilco) y *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin (Xochimilco).

Garduño-Solórzano y colaboradores (2009) realizaron un trabajo en donde sintetizan las características morfológicas y presentan de manera general la distribución de este grupo en las costas mexicanas, pero también hacen una pequeña revisión de las especies de dinoflagelados presentes en las principales lagunas mexicanas. En particular, también reportan para la zona lacustre de Xochimilco a las especies *Sphaerodinium cinctum* (Ehrenberg) Woloszynska y *Ceratium hirundinella* f. *hirundinella*.

Recientemente Tavera y Díez (2009), realizaron un análisis multifactorial de la comunidad microbiana fototrófica en la zona de Xochimilco en los canales de El Japón, Bordo y La Virgen. En particular en el canal de El Japón registraron grandes densidades de una dinofita que reportaron como *Peridiniopsis oculatum* (F.Stein) Bourrelly. Las secuencias de ADN que presentan asocian a esta especie con *Peridinium balticum* (Levander) Lemmermann y comentan que la definición genética de especies de *Peridinium* de agua dulce es incierta debida al escaso número de secuencias de muestras dulceacuícolas, en las bases de datos públicas.

3. Justificación

La documentación de especies de dinofitas en aguas continentales, es menor que en ambientes marinos. En ambientes de agua dulce con problemas de eutrofización, el estudio de las dinofitas es importante en el aspecto de inventario de recursos, porque las condiciones eutróficas promueven sus florecimientos y porque aún se discute la posible función adaptativa que podría tener la producción de toxinas de estos organismos (Rengefors y Legrand, 2001). Esto puede proyectar la importancia ecológica del florecimiento estudiado hacia las áreas económica y de salud. Se consideró fundamental entonces, conocer la biología y la ecología de la especie que produce los florecimientos de dinofitas en Xochimilco-Tláhuac, para eventualmente entender los efectos que pueda tener la presencia de florecimientos dentro de este ecosistema.

El área de estudio fue seleccionada porque comprende una zona urbana en donde se utiliza el recurso acuático para actividades agrícolas, pecuarias y de consumo directo, con la expectativa de que la información que se obtenga en relación con los florecimientos de dinofitas permita formular hipótesis acerca de la calidad del agua del sistema.

4. Preguntas de investigación

1. ¿La variabilidad morfológica observada en *Durinskia baltica* es pleomórfica (etapas del ciclo de vida)?
2. ¿Qué formas de reproducción y cuántas etapas del ciclo de vida de *Durinskia baltica* se pueden reconocer *in situ*?
3. ¿Cuál es la relación entre la variación estacional de las células vegetativas y los quistes de resistencia de *Durinskia baltica*?
4. ¿Cuál es la relación entre la variación climática y la presencia o formación de los florecimientos estacionales?

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Caracterizar biológicamente a *Durinskia baltica* presente en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac (ZLX-T), analizando su relación con la comunidad fitoplanctónica y con las condiciones ambientales (acuáticas y climáticas) de la zona, para proponer las variables (ambientales y/o biológicas) que expliquen su persistencia con florecimientos estacionales.

5.2 Objetivos particulares

1. Definir la composición de especies de la comunidad fitoplanctónica asociada a *Durinskia baltica* durante un ciclo anual.
2. Describir las características taxonómicas y biológicas de *Durinskia baltica* mediante un análisis tabular y de la variabilidad morfológica asociada con las etapas del ciclo de vida que se manifiestan in situ.
3. Determinar la variación en la abundancia de los estadios vegetativo y quístico de *Durinskia baltica* durante un ciclo anual.
4. Definir la función ecológica de los quistes de *Durinskia baltica* en el desarrollo de los florecimientos.
5. Establecer la relación entre la variación de los parámetros fisicoquímicos y climáticos en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac con la variación de la densidad de *Durinskia baltica* durante un ciclo anual.
6. Determinar los factores ambientales y biológicos relacionados con la presencia y persistencia de *Durinskia baltica*.

6. Material y métodos

6.1 Área de estudio

La zona lacustre de Tláhuac- Xochimilco se localiza en México, Distrito Federal, entre los 19° 08' 57" N y 99° 00' 02" O, a una altitud aproximada de 2240m s.n.m. Colinda al Norte con la Av. Canal de Chalco (Delegación Iztapalapa); al Noroeste con Canal Nacional (Delegaciones Coyoacán y Tlalpan); al Sur con la Av. Nuevo León y la Antigua Carretera México- Tulyehualco (Delegación Xochimilco); al Sureste se localizan el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco y el Ejido de Zapotitlán (PMEXYS, 2004).

El clima es templado con humedad variable; la precipitación media anual es de 970 mm y la temperatura media anual es de 16°C con valores extremos de 9 y 33°C (Ramos-Bello *et al.*, 2001). El acuífero de esta zona pertenece a la Región Hidrológica No. 26 Alto Pánuco, y a la Cuenca del Valle de México. Abarca de manera total varias zonas hidrológicas: Zona I Xochimilco, Zona II Churubusco y Zona III Ciudad de México. La zona de estudio se encuentra dentro de las cuencas de los ríos que descienden de la Sierra de Chichinautzin, la cual presenta formaciones basálticas de gran permeabilidad. Los principales ríos de la zona son: San Gregorio, Santiago, San Lucas y San Buenaventura. En la zona existen tres grupos de plantas acuáticas: sumergidas (*Cabomba* sp. y *Potamogeton* sp.), flotantes (*Eichhornia crassipes* (Mart. *et* Zucc) Solms, *Lemna minor* (L.) Griff. y *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid); y emergentes (*Hydrocotyle ranunculoides* L., *Typha latifolia* L., *Juncus* spp. y *Cyperus* spp.) (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

6.2 Métodos de recolección

Se estudiaron las poblaciones de dinofitas en 4 sitios localizados en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac. En cada sitio, se realizaron colectas quincenales durante el periodo de septiembre-diciembre de 2010 y enero-septiembre de 2011 con la finalidad de abarcar los periodos de la estación seca y la estación de lluvias (Tabla 1).

Tabla 1. Calendario de recolecciones de septiembre-diciembre de 2010 y enero-septiembre de 2011.

Estación seca	Estación lluviosa
septiembre 5 y 19-10	abril 3 y 24-11
septiembre 4 y 18-11	mayo 8 y 22-11
octubre 3 y 17-10	junio 5 y 19-11
noviembre 7 y 21-10	julio 3 y 17-11
diciembre 12 y 26-10	agosto 7 y 21-11
enero 16 y 30-11	
febrero 6 y 20-11	
marzo 6 y 20-11	

Se ubicaron tres sitios en el laguna de Tláhuac nombrados de acuerdo con su posición; (1) en la entrada al cuerpo de agua: T-E ($19^{\circ} 16.002' N$; $99^{\circ} 00.418' O$); (2) en la zona media de la laguna: T-M ($19^{\circ} 15.986' N$; $99^{\circ} 00.560' O$) y (3) en la salida del laguna, en donde se une a la red de canales: T-S ($19^{\circ} 16.011' N$; $99^{\circ} 07.677' O$) (Fig.2). Además, se ubicó un sitio en la zona de Xochimilco, nombrado X-J por su ubicación en el Canal de El Japón ($19^{\circ} 16.923' N$; $99^{\circ} 04.252' O$) (Fig.3).



Figura 2. Puntos de colecta en Laguna de los Reyes Aztecas, Tláhuac. T-E (entrada), T-M (media laguna), T-S (salida).



Figura 3. Sitio de colecta en la zona de Xochimilco, canal El Japón (X-J).

En cada sitio, se tomaron tres muestras superficiales de agua, una con un frasco de 1 l la cual fue preservada con Lugol y destinada para el conteo e identificación de organismos, y otra de 300 ml la cual no fue fijada y se mantuvo en hielo hasta su posterior procesamiento en el laboratorio para la determinación de nutrimentos totales e inorgánicos. Una última muestra de 20 ml fue recolectada con red de 10 μm de apertura de malla, y preservada con formol al 3% para conservarla como referencia de herbario y fue depositada en la colección en la Facultad de Ciencias, UNAM, FCME.

Como un referente de la comunidad fitoplanctónica total, se realizó la cuantificación de clorofila-a, para lo cual se recolectaron 100 ml de agua en cada sitio que se filtraron con un equipo Millipore, usando filtros GF/F Whatman^{MR} de 40 mm de diámetro. Los filtros conteniendo la muestra de fitoplancton se secaron y aislaron de la luz en sobres de aluminio, los cuales se mantuvieron en refrigeración hasta su posterior procesamiento en el laboratorio.

Para la determinación de la densidad de quistes en sedimento, en cada sitio se recolectaron 3 núcleos de sedimento con un nucleador que abarcó un área de 10 cm^2 ; la recolección fue al azar en cada sitio, en un área aproximada de 2 m^2 . Los núcleos recolectados se mantuvieron en obscuridad y en refrigeración hasta su posterior procesamiento en el laboratorio.

6.2.1 Variables ambientales en la columna de agua

En cada sitio de estudio se registró *in situ*, la irradianza sub-acuática con los sensores de irradianza HOBO Penclant Couple^{MR}; temperatura del agua, pH y conductividad con el conductímetro Conductronic PC18^{MR} y el oxígeno disuelto con el oxímetro Conductronic^{MR}.

6.3 Estructura y métodos de análisis

6.3.1 Identificación del fitoplancton

La identificación de los grupos fitoplanctónicos más comunes se llevó a cabo utilizando la siguiente bibliografía especializada: Krammer y Lange-Bertalot (1985, 1986, 1988, 1991) para diatomeas; Komárek y Fott (1983), Comas y Komárek (1984), Hegewald (2000) y Comas *et al.* (2007) para clorofitas y Komárek y Anagnostidis, (1999) para cianofitas.

6.3.2 Conteo de fitoplancton

Para determinar la proporción de otros grupos fitoplanctónicos en relación al florecimiento de *D. baltica* y comparar las proporciones obtenidas con las medidas de clorofila-a, se realizó el conteo (cámara Sedgewick-Rafter), de las especies más comunes del fitoplancton en el sitio de El Japón (Xochimilco) y en el sitio T-S en Tláhuac, utilizando 1ml de las muestras de las recolecciones en donde se registraron las densidades de *D. baltica* más altas (3 de abril de 2011 para El Japón y 22 de mayo de 2011 para Tláhuac S) y más bajas (7 de noviembre de 2010 para ambos El Japón y Tláhuac S), respectivamente.

6.3.3 Identificación de dinofitas

Para la identificación de las dinofitas de la zona estudiada se utilizó el trabajo de dinofitas de agua dulce de Popovsky y Pfiester (1990). Las dinofitas tecadas presentan placas de naturaleza celulósica las cuales son consideradas como la característica taxonómica más importante, ya que su forma, número y posición es propia de cada especie (Llorente-Isidro y Cereceda-Oyon, 2001).

A pesar de que en muchas especies estas placas le confieren bastante rigidez a la célula, en el caso de las dinofitas de las localidades estudiadas la teca es muy delicada, por lo que algunas técnicas usadas

tradicionalmente como la tinción con calcofluor (Fritz y Triemer, 1985) no fueron de utilidad. Entonces, para la obtención de la morfología de la teca se realizó un blanqueamiento con hipoclorito de sodio (Lebour, 1925; Imamura y Fukuyo, 1987), a través de una incorporación lenta para evitar la destrucción de las tecas. Para contrastar las imágenes, las preparaciones se tiñeron con hidrato de cloral al 25 % y azul de tripano.

La descripción de la morfología y fórmula de la teca se realizó con un microscopio fotónico Nikon Optiphot -2™ provisto de una cámara digital (Nikon Coolpix S10 VR™). La fórmula tecal se obtuvo del análisis de fotografías de las vistas ventral, dorsal, apical y antapical.

6.3.4 Caracterización morfológica de *Durinskia baltica*

Con material de cada recolección y utilizando muestras frescas sin preservar, se realizó la documentación de la morfología y dimensiones de las células vegetativas, así como de las etapas del ciclo de vida. De todas las recolecciones se midieron un total de 226 especímenes utilizando los aumentos 20X, 40X y 100X en un microscopio fotónico Nikon Optiphot -2^{MR} equipado con una cámara digital Nikon Coolpix S10 VR^{MR}.

6.3.5 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Para realizar una descripción detallada de la morfología de la teca, particularmente de la presencia de ornamentaciones y la distribución de placas sulcales, se procesaron muestras para observar con microscopio electrónico de barrido. Se utilizó la técnica de observación a alto vacío, con un concentrado de células de aproximadamente 100 µl, obtenido del filtrado de 100 ml de muestra con un sistema Millipore™ y membranas de nitrocelulosa de 0.22 µm GSWP.

El filtro fue envuelto en un sobre de papel cebolla, posteriormente se llevó a cabo una fijación primaria colocando el filtro en 40 ml de glutaraldehído al 2% (GTA) durante 15-30 minutos, después de transcurrido este tiempo, se realizó una fijación secundaria con 40 ml de GTA al 2% en 20 ml de buffer de cacodilato de sodio (NaCac) 0.1 M, pH 7.2, durante dos horas y a temperatura ambiente. Una vez terminado el tiempo de fijación se realizó un lavado del filtro durante 10 minutos cuatro veces, con 40 ml de buffer de NaCac 0.1 M y 20 ml de agua destilada.

Después del lavado, las células contenidas en el filtro se deshidrataron en series de etanol al 50%, 70%, 95% y tres de 100% durante 15 minutos en cada concentración, inmediatamente después de la última concentración el filtro se transfirió a una placa de Petri con amil-acetato durante 2-3 horas, posteriormente el amil-acetato fue reemplazado con CO₂ para realizar un secado a punto crítico con una secadora Tousimis Samdri-700™. Una vez que las muestras secaron a punto crítico, se pegaron en cilindros para MEB y se cubrieron con oro con un ionizador de oro Jeol JFC1100™. Finalmente las muestras procesadas se observaron en un microscopio electrónico de barrido Jeol 5410 LV™.

6.3.6 Microscopia electrónica de Transmisión (MET)

Para caracterizar en detalle la estructura interna de la célula y en particular para corroborar la presencia de un núcleo eucariótico, que es una característica taxonómica muy importante para la identificación de la especie encontrada en Xochimilco-Tláhuac, se realizó el procesamiento de muestras para observarlas en microscopio electrónico de transmisión. Se utilizó la técnica de ultramicrotomía y tinción, con un concentrado de células de aproximadamente 100 µl, obtenido de la centrifugación de una muestra de 100 ml del sitio de Xochimilco (canal de El Japón). Se realizó previamente una fijación primaria de la muestra con 2 ml de GTA (2%) y buffer de cacodilato de sodio (2%) durante 2 horas a temperatura ambiente y posteriormente se centrifugó la muestra a 300 r.p.m. durante 5 minutos. El botón celular obtenido se lavó 3 veces con buffer de NaCac 0.1 M, pH 7.2, durante 10 minutos. Posteriormente se realizó una fijación secundaria con OsO₄ y NaCac al 2% durante 1 hora y a temperatura ambiente; después de esta fijación se procedió a la deshidratación de la muestra con series ascendentes de etanol al 70% 85% 95% y 100%.

Después de la deshidratación se realizó una inclusión de la muestra en resina pura LR-White™. Una vez polimerizada en la resina, se realizaron cortes ultrafinos (±40 nm) de las células. Finalmente los cortes fueron contrastados con una tinción de acetato de uranilo al 2 % en solución acuosa, durante una hora. Las muestras procesadas fueron observadas con el microscopio electrónico de transmisión (Jeol 1200EXII™).

6.3.7 Documentación de la morfología *in situ*, identificando posibles etapas del ciclo de vida de *Durinskia baltica*

Paralelamente se realizaron preparaciones frescas y permanentes con gelatina glicerizada (González y Novelo, 1986) de las muestras preservadas con formol de cada sitio de recolección. En estas preparaciones se buscó la presencia de alguna etapa del ciclo asexual ó sexual para comprobar si dentro del florecimiento se llevaban a cabo ambos tipos de reproducción y así poder realizar las descripciones morfológicas de las

diferentes etapas encontradas *in situ* en el florecimiento con su respectiva documentación gráfica. También se realizaron observaciones del comportamiento de las células en reproducción con material vivo del sitio, con base en estas observaciones fue posible realizar una reconstrucción del ciclo de vida completo.

6.3.8 Conteo de células vegetativas de *Durinskia baltica*

El conteo de células vegetativas de *D. baltica* se realizó con las muestras de 1 l preservadas con lugol tomadas en cada sitio, sobre 1 ml analizado en una cámara de conteo Sedgewick-Rafter para calcular los valores de la densidad total por volumen. Para cada muestra de 1 l, el conteo se realizó por triplicado.

6.3.9 Conteo de quistes de resistencia de *Durinskia baltica*

En el laboratorio se dividió el núcleo recolectado en 16 partes. Sobre 1/16 y utilizando una navaja fina, se separó el sedimento superficial para realizar los conteos sobre esa área correspondiente a $\pm 0.62 \text{ cm}^2$.

Con base en el método propuesto por Kim *et al.* (2007), esta capa superficial fue diluida en 30 ml de agua destilada. La muestra así obtenida se tamizó con malla de 100 μm , seguido de un segundo tamizado con malla de 10 μm (mallas metálicas).

La muestra final se transfirió a un volumen de 10 ml para preparar los conteos en una cámara Sedgewick-Rafter. Cada conteo se realizó por triplicado. El número total de quistes por metro cuadrado se obtuvo calculando su densidad sobre la cantidad de muestra analizada, con un valor de desviación estándar.

Para realizar la descripción morfológica y la documentación gráfica de los quistes de resistencia encontrados en el sedimento, se realizaron tanto preparaciones frescas como permanentes para observar en el microscopio fotónico referido previamente.

6.3.10 Cuantificación de clorofila-a

En el laboratorio se siguió en método 445 de USEPA para extracción de clorofila-a, este método consiste en macerar los filtros obtenidos en campo (filtrado de 100 ml de agua en cada sitio), con 10 ml de acetona al 90%. Esta muestra se guardó, impidiendo el paso de luz, por un mínimo de 2 h y menos de 24 h en refrigeración. Posteriormente se retiraron de refrigeración hasta alcanzar la temperatura ambiente y se

centrifugaron durante 10 minutos a 1500 rpm, para obtener el sobrenadante, el cual fue analizado por fluorimetría (Fluorómetro Turner AU-10^{MR}) para obtener directamente el valor de la concentración de clorofila-a por litro ($\mu\text{g/l}$). Posteriormente, con los datos obtenidos de concentración de clorofila-a, se realizó una comparación de éstos con los registros de densidad de células vegetativas de *D. baltica* en los cuatro sitios de recolección para determinar la relación entre la presencia de *D. baltica* y la composición de la comunidad fitoplanctónica.

6.3.11 Registro de variables climáticas

Como un referente de las condiciones climáticas predominantes en los sitios de muestreo durante la época seca y de lluvias, se realizó una revisión mensual de los datos de precipitación y temperatura reportados en el Sistema Meteorológico Nacional para el periodo comprendido entre septiembre de 2010 y septiembre de 2011. Estos datos se relacionaron con los datos de densidad de células vegetativas en el sitio de Xochimilco (canal de El Japón) en donde se documentaron las mayores densidades de *D. baltica*.

6.3.12 Determinación de nutrientes

En el laboratorio se llevó a cabo la determinación de fósforo total mediante el método de digestión ácida (Menzeld y Gorwin, 1965); Nitrato ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) con el método de reducción de cadmio (Strickland y Parsons, 1972); Nitrito ($\text{NO}_2^- - \text{N}$) con el método de diazotización (Bendschneider y Robinson, 1952); Amonio (NH_4^+) con el método del salicilato (Solórzano, 1969) y Sílice (SiO_2) mediante el método del silicomolibdato (Schwartz, 1942). Todos los métodos se llevaron a cabo siguiendo los protocolos propuestos para el espectrofotómetro HachTM Spectrophotometer DR/2010; los cuales están basados en los métodos aprobados por la USEPA (2010) para reporte científico del análisis de aguas naturales.

6.4 Análisis estadístico de datos

Para determinar la contribución de los diferentes factores ambientales en la dinámica de crecimiento de las especies de dinofitas se realizó un análisis multivariado (regresión lineal múltiple, SPSS 17.0), con una transformación logarítmica de los datos obtenidos en cada colecta para mantener una normalidad de distribución, considerando las diferencias en las unidades monitoreadas, estimando la normalidad y homogeneidad de varianza.

La construcción de modelos de regresión privilegió la selección de variables independientes con una relación lineal hacia la variable dependiente medida, pero se conservaron también o preferentemente, aquellas variables que aun sin una correlación estadísticamente significativa con la variable dependiente, no mostraron estar correlacionadas entre sí. Esto no afectó las restricciones en el uso de modelos estadísticos y le brindó solidez al estudio de la biología del fitoplancton, considerar el papel de algunas variables que interactúan directamente con el desarrollo de las especies, como los nutrientes.

Con base en los valores de Correlación de Pearson (análisis de regresión múltiple con 95% de confianza) se detectaron cuáles eran los parámetros ambientales (variables independientes) que explicaban mejor la variabilidad de las variables dependientes: densidad celular, densidad de quistes de *D. baltica* y la concentración de clorofila-a, representando el componente fitoplanctónico en su conjunto. Uno de los criterios que apoyó la selección de variables con una correlación estadísticamente significativa, fue la evidencia de colinearidad.

Para evaluar la existencia de una relación lineal entre *D. baltica* en la columna de agua (etapa vegetativa) y las demás especies del fitoplancton (evaluado como concentración de clorofila-a), se evaluaron las densidades de todas las especies en el canal de El Japón y en el sitio TS de Tláhuac, donde *D. baltica* presentó las mayores y menores densidades celulares registradas durante el estudio. Los resultados gráficos se respaldaron con análisis de correlación bivariada independientes para cada uno de los cuatro sitios de estudio.

Se construyeron modelos para posibles relaciones lineales entre el fitoplancton de los cuatro sitios y los factores ambientales y en particular entre *D. baltica* (en cualquiera de sus etapas) y los factores ambientales en el sitio de El Japón. Se eligieron los modelos de regresión lineal multivariada para evaluar el efecto autónomo de cada una de las variables predictivas, sobre cada una de las variables dependientes.

Para evaluar la existencia de una relación lineal entre las etapas vegetativa y quística de *D. baltica*, considerando el posible efecto del sitio y de la fecha de recolección, se aplicó un análisis de correlación parcial (SPSS 17.0) que permitió eliminar este efecto. El criterio que fundamentó este análisis fue evitar la influencia del sitio donde crecía *D. baltica* y de la frecuencia de recolección (mensual o quincenal) en la construcción de la relación lineal, con el propósito de establecer si en la zona lacustre estudiada, la presencia de los florecimientos de la dinofita, estaban relacionados con la germinación de los quistes.

7. Resultados

7.1 Composición de especies del fitoplancton y relación de sus densidades con *Durinskia baltica*

En el canal de El Japón en el conteo del 3 de abril de 2011 se contabilizaron un total de 38 especies comunes, mismas que sumaron una densidad correspondiente al 13% de la densidad total fitoplanctónica. Por su parte, la densidad de *D. baltica* fue correspondiente con el 87% de la densidad total fitoplanctónica.

En el conteo del 7 de noviembre de 2010, se determinó que la sumatoria de la densidad de las 36 especies registradas fue equivalente al 99% de la densidad total del fitoplancton total, mientras que la densidad de *D. baltica* fue equivalente al 1% de la densidad total del fitoplancton en este caso (Tablas 2-4).

Tabla 2. Especies cuantificadas en el canal de El Japón (Xochimilco) con valores altos de clorofila-a.

Grupos comunes de El Japón (03/04/2011)	Especie	Densidad total (cels./L)	% en fitoplancton total
Clorofitas	<i>Coccomonas</i> sp.	85000	0.762
	<i>Chlorogonium elongatum</i>	7000	0.063
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	381000	3.413
	<i>Desmodesmus communis</i>	111000	0.994
	<i>Desmodesmus pannonicus</i>	25000	0.224
	<i>Pandorina morum</i>	10000	0.090
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>carinatus</i>	34000	0.305
	<i>Chlamydomonas</i> sp.2	35000	0.314
	<i>Monoraphidium contortum</i>	24000	0.215
	<i>Chlamydomonas</i> sp.3	13000	0.116
	<i>Scenedesmus</i> sp.1	47000	0.421
	<i>Schroederia setigera</i>	14000	0.125
	<i>Scenedesmus</i> sp.3	117000	1.048
	<i>Scenedesmus</i> sp.5	22000	0.197
	<i>Scenedesmus</i> sp.6	27000	0.242
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>acicularis</i>	7000	0.063
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	11000	0.099
	<i>Scenedesmus magnus</i>	76000	0.681
	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	25000	0.224
	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	9000	0.081
	<i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i>	6000	0.054
	<i>Pediastrum tetras</i>	5000	0.045
	<i>Scenedesmus falcatus</i>	31000	0.278
	<i>Golenkinia radiata</i>	5000	0.045
	<i>Tetrastrum glabrum</i>	5000	0.045
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>opoliensis</i>	5000	0.045
	<i>Kirchneriella obesa</i>	16000	0.143
<i>Pediastrum tetras</i>	5000	0.045	
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	22000	0.197	
<i>Micractinium pusillum</i>	9000	0.081	
<i>Chlamydomonas</i> sp.1	31000	0.278	
Euglenofitas	<i>Euglena acus</i>	29000	0.260
Desmidiales	<i>Staurastrum</i> sp.	12000	0.108
Bacillariofitas	<i>Melosira varians</i>	60000	0.538
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	100000	0.896
	<i>Aulacoseira granulata</i>	50000	0.448
	<i>Nitzschia</i> sp.	11000	0.099
Charofitas	<i>Closterium kuetzingii</i>	6000	0.054

Tabla 3. Especies cuantificadas en el canal de El Japón (Xochimilco) con valores bajos de clorofila-a.

Grupos comunes de El Japón (03/04/2011)	Especie	Densidad total (cels./L)	% en fitoplancton total
Clorofitas	<i>Coccomonas</i> sp.	85000	0.762
	<i>Chlorogonium elongatum</i>	7000	0.063
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	381000	3.413
	<i>Desmodesmus communis</i>	111000	0.994
	<i>Desmodesmus pannonicus</i>	25000	0.224
	<i>Pandorina morum</i>	10000	0.090
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>carinatus</i>	34000	0.305
	<i>Chlamydomonas</i> sp.2	35000	0.314
	<i>Monoraphidium contortum</i>	24000	0.215
	<i>Chlamydomonas</i> sp.3	13000	0.116
	<i>Scenedesmus</i> sp.1	47000	0.421
	<i>Schroederia setigera</i>	14000	0.125
	<i>Scenedesmus</i> sp.3	117000	1.048
	<i>Scenedesmus</i> sp.5	22000	0.197
	<i>Scenedesmus</i> sp.6	27000	0.242
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>acicularis</i>	7000	0.063
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	11000	0.099
	<i>Scenedesmus magnus</i>	76000	0.681
	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	25000	0.224
	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	9000	0.081
	<i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i>	6000	0.054
	<i>Pediastrum tetras</i>	5000	0.045
	<i>Scenedesmus falcatus</i>	31000	0.278
	<i>Golenkinia radiata</i>	5000	0.045
	<i>Tetrastrum glabrum</i>	5000	0.045
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>opoliensis</i>	5000	0.045
	<i>Kirchneriella obesa</i>	16000	0.143
<i>Pediastrum tetras</i>	5000	0.045	
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	22000	0.197	
<i>Micractinium pusillum</i>	9000	0.081	
<i>Chlamydomonas</i> sp.1	31000	0.278	
Euglenofitas	<i>Euglena acus</i>	29000	0.260
Desmidiiales	<i>Staurastrum</i> sp.	12000	0.108
Bacillariofitas	<i>Melosira varians</i>	60000	0.538
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	100000	0.896
	<i>Aulacoseira granulata</i>	50000	0.448
	<i>Nitzschia</i> sp.	11000	0.099
Charofitas	<i>Closterium kuetzingii</i>	6000	0.054

Tabla 4. Porcentajes de densidad fitoplanctónica con valores altos y bajos de clorofila-a en el canal de El Japón (Xochimilco).

03/04/2011	Densidad total de 38 especies	% en Fitoplancton Total	Densidad total de <i>D. baltica</i>	% en Fitoplancton Total
	1488000 (cels.L ⁻¹)	13%	9,674,000 (cels.L-1)	87%
07/11/2010	Densidad total de 36 especies			
	3483000 (cels.L ⁻¹)	28%	8,833,333 (cels.L-1)	72%

En el sitio de Tláhuac S, en el conteo del 22 de mayo de 2011, se contabilizaron un total de 37 especies comunes cuya densidad correspondió con el 99% de la densidad total y *D. baltica* contribuyó solo con el 1% de la densidad total fitoplanctónica.

En el conteo del 7 de noviembre de 2010, se contabilizaron un total de 35 especies abundantes correspondientes al 99% de la densidad total fitoplanctónica. En este conteo *D. baltica* también contribuyó con el 1% de la densidad total fitoplanctónica (Tabla 5-7).

Estos resultados se respaldan en los análisis de correlaciones bivariadas para cada sitio de estudio (ver Anexo 4). En canal de El Japón el valor de correlación fue $R= 0.402$; valor de $p \leq 0.05$. En Tláhuac-S el valor de correlación fue $R= 0.477$; valor de $p \leq 0.05$.

Tabla 5. Especies cuantificadas en el canal de TS (Tláhuac) con valores altos de clorofila-a en Tláhuac S.

Grupos comunes de Tláhuac (22/05/2011)	Especie	Densidad total (cels./L)	% en fitoplancton total
Clorofitas	<i>Coccomonas</i> sp.	556000	2.655
	<i>Chlamydomonas</i> sp.1	174000	0.831
	<i>Monoraphidium contortum</i>	629000	3.004
	<i>Chlamydomonas</i> sp.2	102000	0.487
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	62000	0.296
	<i>Micractinium pusillum</i>	124000	0.592
	<i>Scenedesmus falcatus</i>	78000	0.373
	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	68000	0.325
	<i>Monoraphidium</i> sp.	16000	0.076
	<i>Pandorina morum</i>	30000	0.143
	<i>Pediastrum boryanum</i>	13000	0.062
	<i>Dactylococcopsis</i> sp.	16000	0.076
	<i>Scenedesmus bernardii</i>	70000	0.334
	<i>Tetrastrum glabrum</i>	52000	0.248
	<i>Keratococcus</i> sp.	18000	0.086
	<i>Euglena</i> sp.2	63000	0.301
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	7000	0.033
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	33000	0.158
	<i>Chlamydomonas</i> sp.3	75000	0.358
	<i>Kirchneriella obesa</i>	56000	0.267
<i>Scenedesmus</i> sp.	36000	0.172	
<i>Desmodesmus communis</i>	43000	0.205	
<i>Keratococcus bicaudatus</i>	38000	0.181	
<i>Coelastrum</i> sp.	13000	0.062	
<i>Closteriopsis</i> sp.	18000	0.086	
Cianofitas	<i>Merismopedia elegans</i>	14775000	70.562
	<i>Anabaenopsis elenkini</i>	47000	0.224
	<i>Leptolyngbya</i> sp.	356000	1.700
	<i>Phormidium</i> sp.	1235000	5.898
	<i>Chroococcus</i> sp.	86000	0.411
Euglenofitas	<i>Euglena</i> sp.1	31000	0.148
	<i>Euglena acus</i>	18000	0.086
Bacillariofitas	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1531000	7.312
	<i>Melosira varians</i>	223000	1.065
	<i>Nitzschia</i> sp.	136000	0.650
	<i>Aulacoseira granulata</i>	90000	0.430
Desmidiales	<i>Staurastrum</i> sp.	21000	0.100

Tabla 6. Especies cuantificadas en el canal de TS (Tláhuac) con valores bajos de clorofila-a en Tláhuac S.

Grupos comunes de Tláhuac (7/11/2010)	Especie	Densidad total (cels./L)	% en fitoplancton total
Clorofitas	<i>Coccomonas</i> sp.	664000	10.546
	<i>Scenedesmus</i> sp.1	109000	1.731
	<i>Monoraphidium contortum</i>	273000	4.336
	<i>Keratococcus</i> sp.	298000	4.733
	<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	60000	0.953
	<i>Scenedesmus falcatus</i>	314000	4.987
	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	101000	1.604
	<i>Pandorina morum</i>	20000	0.318
	<i>Tetrastrum glabrum</i>	72000	1.144
	<i>Schroederia setigera</i>	15000	0.238
	<i>Scenedesmus</i> sp.3	100000	1.588
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	67000	1.064
	<i>Scenedesmus</i> sp.5	92000	1.461
	<i>Chlamydomonas</i> sp.2	141000	2.240
	<i>Kirchiniella obesa</i>	805000	12.786
	<i>Chlamydomonas</i> sp.3	216000	3.431
	<i>Scenedesmus</i> sp. 4	567000	9.006
	<i>Desmodesmus communis</i>	31000	0.492
	<i>Closteriopsis</i> sp.	33000	0.524
	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	58000	0.921
<i>Scenedesmus</i> sp.2	142000	2.255	
Cianofitas	<i>Merismopedia elegans</i>	136000	2.160
	<i>Chroococcus</i> sp.	24000	0.381
	<i>Phormidium</i> sp.	124000	1.970
	<i>Chlamydomonas</i> sp.1	56000	0.889
	<i>Leptolyngbya</i> sp.	63000	1.001
	<i>Merismopedia</i> sp.1	447000	7.100
	<i>Merismopedia</i> sp.2	62000	0.985
	<i>Planktothrix</i> sp.	105000	1.668
Euglenofitas	<i>Euglena</i> sp.1	59000	0.937
Bacillariofitas	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	244000	3.875
	<i>Melosira varians</i>	116000	1.842
	<i>Nitzschia</i> sp.	385000	6.115
	<i>Aulacoseira granulata</i>	155000	2.462

Tabla 7. Porcentajes de densidad fitoplanctónica con valores altos y bajos de clorofila-a en Tláhuac S.

22/05/2011	Densidad total de 37 especies	% en Fitoplancton Total	Densidad total de <i>D. baltica</i>	% en Fitoplancton Total
	20939000 (cels.L ⁻¹)	99%	119000 (cels.L-1)	1%
	Densidad total de 35 especies			
07/11/2010	6296000 (cels.L ⁻¹)	99%	32000 (cels.L ⁻¹)	1%

7.2 Composición de especies y características morfológica de dinofitas

Se identificaron 6 especies de dinofitas en el canal de El Japón en la zona de Xochimilco: *Peridinium aciculiferum* var. *inerme* Woloszynska, *Peridiniopsis* cfr. *berolinense* (Lemmermann) Bourrelly, *Glochidinium penardiforme* (Lindemann) Boltovskoy, *Peridiniopsis penardiforme* (Lindemann) Bourrelly, *Peridinium lomnickii* var. *splendida* (Woloszynska) Lindemann (Fig.4) y *Durinskia baltica* (Levander) Carty et Cox. Sin embargo la recurrencia de las 5 primeras no fue registrada de manera constante o permanente durante este estudio, por el contrario, la especie que si fue registrada de manera permanente y con densidades mayores a 1×10^6 céls.L⁻¹ fue *Durinskia baltica*. Dado que ella fue la especie dominante en la zona de estudio, se procedió a hacer su caracterización biológica y ecológica. A continuación se presenta la descripción de las especies de Dinophyta encontradas en la zona de estudio.

Peridinium aciculiferum var. *inerme* Woloszynska (Fig.4)

Células ovoides ligeramente aplanadas dorso-ventralmente, epiteca e hipoteca ligeramente esféricas y la epiteca con un ápice prominente. El cíngulo gira hacia la derecha, el sulcus se ensancha a lo largo de la hipoteca y alcanza la región antapical. Placas reticuladas. Las células pueden o no tener una espina en la hipoteca. Presenta numerosos cloroplastos con forma de disco. Sus dimensiones varían de 35-51 μm de largo y 29-42 μm de ancho. Se puede encontrar en lagunas y estanques también en ambientes marinos (Fig.10A-B). Herbario: DFXo-237.1, DFTh-29.2.

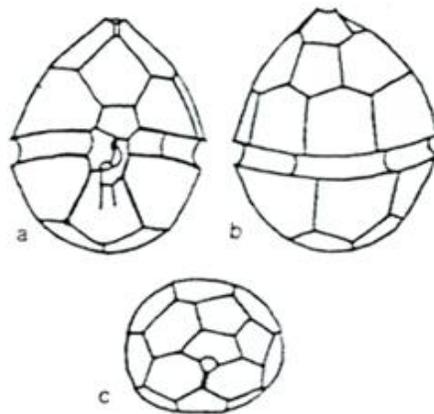


Figura 4. Morfología de la teca de *Peridinium aciculiferum* var. *inerme* Woloszynska. a) vista ventral; b) vista dorsal; c) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.

Peridiniopsis cfr. *berolinense* (Lemmermann) Bourrelly (Fig. 5)

Organismos tecados esféricos, elipsoidales o romboides en vista ventral y ligeramente aplanadas dorso-ventralmente. Epiteca cónica o generalmente con forma de casco. Hipoteca cónica y apiculada. Presenta muchas espículas en las placas de la hipoteca y en los márgenes de las placas. El cingulo es ancho y levógiro. Sulcus ensanchado hasta el antápice. Presenta numerosos gránulos rojos o incoloros altamente refractivos en la periferia del citoplasma. Núcleo prominente y una vacuola alimenticia que contiene un pirenoide de algún organismo ingerido. Su tamaño varía entre 33 μm de largo y 30 μm de ancho. (Fig. 9C). Herbario: DFXo-224.3, DFXo-239.2.

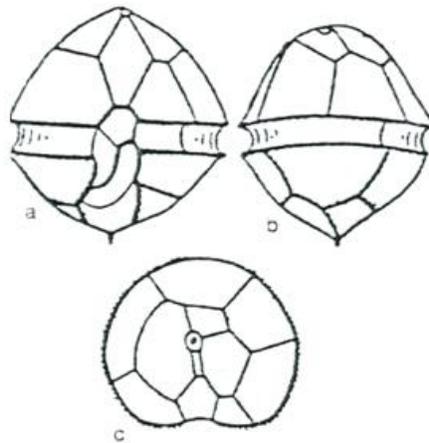


Figura 5. Morfología de la teca de *Peridiniopsis berolinense* (Lemmermann) Bourrelly. a) vista ventral; b) vista dorsal; c) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.

Notas taxonómicas: La especie ha sido designada para confrontar con futuras revisiones de material del canal de El Japón, porque un porcentaje importante de la población tiene medidas menores que las registradas para la especie.

Glochidinium penardiforme (Lindeman) Boltovskoy (Fig. 6).

Organismos tecados, con células esféricas ligeramente aplanadas dorso-ventralmente. Núcleo central con o sin cloroplastos, vista ventral con contorno ovoide. Ápice ligeramente marcado y una depresión antapical en la zona media. En vista ventral teca con bordes ligeramente cóncavos en vista dorsal convexa. Cingulo circular profundamente excavado y divide a la teca en dos partes de tamaño similar con una diferencia de $\pm 2 \mu\text{m}$. Epiteca con forma de domo, hipoteca ligeramente más ancha; Antápice bilobulado (Fig.9 E-F). Herbario: DFXo-226.1, DFXo-227.2.

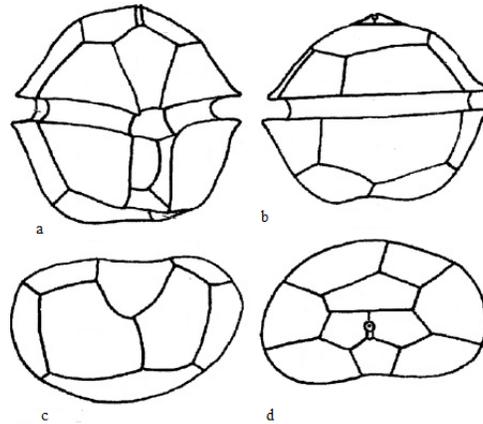


Figura 6. Morfología de la teca de *Glochidinium penardiforme* (Lindemman) Boltovskoy. Modificado de Boltovskoy, 1999.

Peridiniopsis penardiforme (Lindemann) Bourelly (Fig. 7).

Organismos tecados con células pentagonales y extremadamente aplanadas dorso-ventralmente con epiteca e hipoteca del mismo tamaño. Epiteca cónica y apiculada; Hipoteca excavada en la zona antapical, epiteca e hipoteca son del mismo tamaño. Cíngulo ancho y profundo, sulcus profundo y alcanza la región antapical, presenta una concavidad muy marcada en la vista antapical. Placas lisas, o presentando un estriado puntiforme o reticulado. La primera placa apical es hexagonal y no contigua al poro apical. Placas 1^ª y 2^ª cuadradas. Presenta cloroplastos y puede o no presentar numerosos gránulos en la periferia de la célula. Dimensiones: 16-35 μm de largo y 9-30 μm de ancho (Fig. 9 G-H). Herbario: DFXo-230.1, DFXo-232.1.

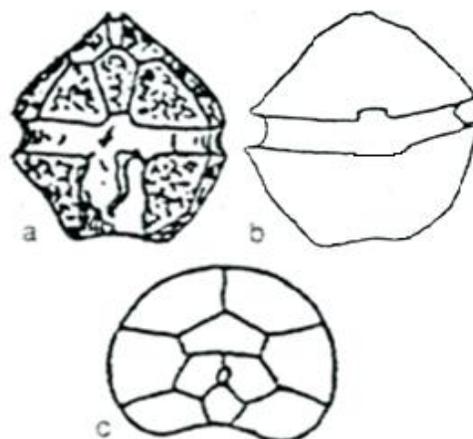


Figura 7. Morfología de la teca de *Peridiniopsis penardiforme* (Lindemann) Bourelly. a) vista ventral; b) vista dorsal; c) vista apical. Modificado de Popovsky y Pfister, 1990.

Peridinium lomnickii var. *splendida* (Woloszynska) Lindemann (Fig. 8).

Células pentagonales muy aplanadas dorso-ventralmente. La epiteca es más larga que la hipoteca. En vista ventral, la porción derecha de la célula, es más alargada que la izquierda. Placas cubiertas por espinas, en ambos lados de la placa romboidal hay dos cuernos aserrados. Tiene surcos anchos estriados de forma cruzada. Presenta cromatóforos de color marrón oscuro. Dimensiones: 30-50 μm de largo y 28-40 μm de ancho (Fig. 9 I-J). Herbario: DFXo-238.2.

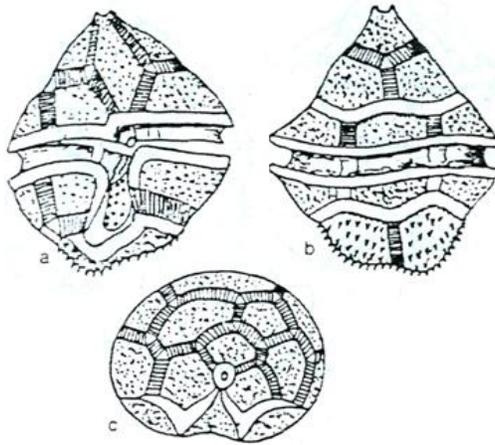


Figura 8. Morfología de la teca de *Peridinium lomnickii* var *splendida* (Woloszynska) Lindemann. a) vista ventral; b) vista dorsal; vista apical. Modificado de Popovsky y Pfiester, 1990.

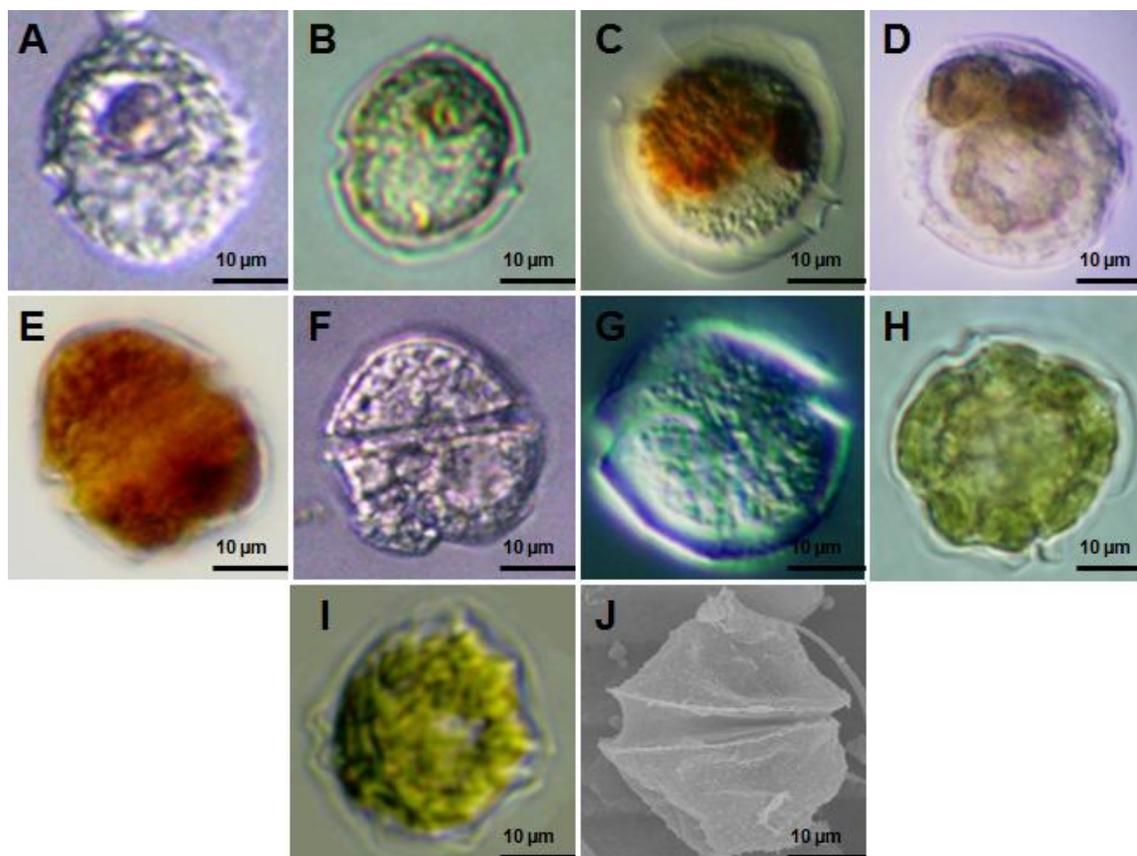


Figura 9. Especies de dinofitas identificadas en Xochimilco (estructura interna). A-B) *Peridinium aciculiferum* var. *inerme* Woloszynska, vista ventral. C-D) *Peridiniopsis* cfr. *berolinense* (Lemmermann) Bourrelly. C: vista dorsal, D: vista ventral. E-F) *Glochidinium penardiforme* (Lindemann) Boltovskoy. E: vista dorsal. F: vista ventral. G-H) *Peridiniopsis penardiforme* (Lindemann) Bourrelly. G: vista ventral. H: vista dorsal. I-J) *Peridinium lomnickii* var. *splendida* (Woloszynska) Lindemann. I: vista ventral. J: vista dorsal.

7.3 Descripción de *Durinskia baltica* (Levander) Carty et Cox

Las células de *Durinskia baltica* son esféricas u ovaladas y ligeramente aplanadas dorsoventralmente, sus dimensiones varían entre 24-34 µm de largo y 18-22 µm de ancho. La epiteca y la hipoteca son del mismo tamaño o bien la epiteca puede ser ligeramente más larga (± 5 µm). El cingulo es planozono descendente y levógiro, el sulcus es ancho y se encuentra sólo en la hipoteca en donde no alcanza la región antapical. Presenta un estigma de color rojo en el área sulcal de la hipoteca (Fig.10A y 10E) y varios cuerpos rojos de acumulación de materiales de desecho (Fig. 10C), los cloroplastos tienen forma de disco y son numerosos (Fig. 10D). El núcleo dinocarion es circular (16 - 20 µm de diámetro) y generalmente ocupa la parte central de la célula (Fig. 10B).

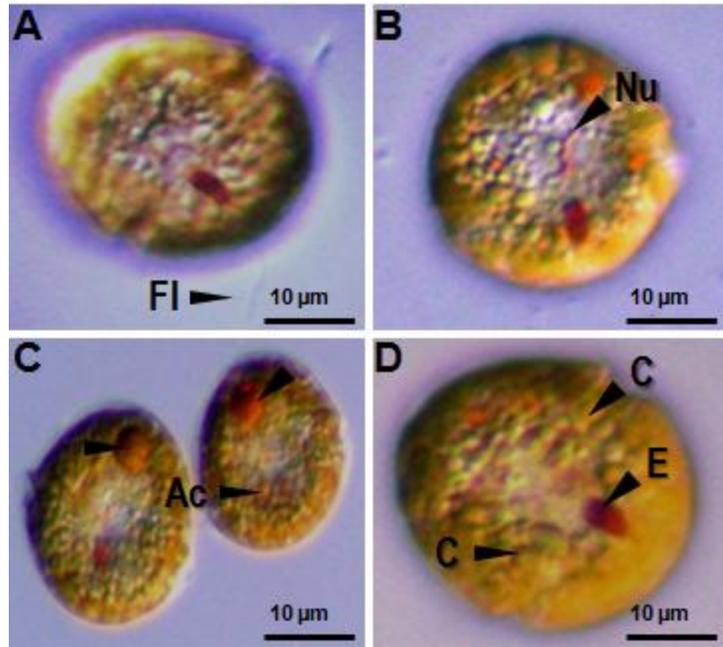


Figura 10. Morfología de la célula vegetativa de la dinofita dominante (células vivas) y diferentes estructuras presentes en ella. A) Fl: flagelo longitudinal; B) Nu: nucleodineton; C) Ac: cuerpos rojos de acumulación; D) C: cloroplastos, E: estigma. Imágenes tomadas de las muestras: DFXo-225, DFXo-226, DFXo-227 y DFXo-228.

Se obtuvo el arreglo de la teca siguiendo el sistema propuesto por Kofoid (1909), que cumple con la siguiente fórmula: $Po, x, 4', 2a, 6'', 5c, 4s, 5''', 2''''$. El poro apical se encuentra rodeado por una pequeña placa (x) en forma de canal. La teca fue asimétrica, la placa romboidal 1' es ortogonal en posición y tiene 2 placas intercalares pentagonales, una seguida de la otra, siendo la placa 1a mas pequeña que la 2a y ubicada justo arriba de las placas 4'' y 5'''. Las placas son lisas con poros distribuidos cerca de las líneas de sutura (Fig.11-12).

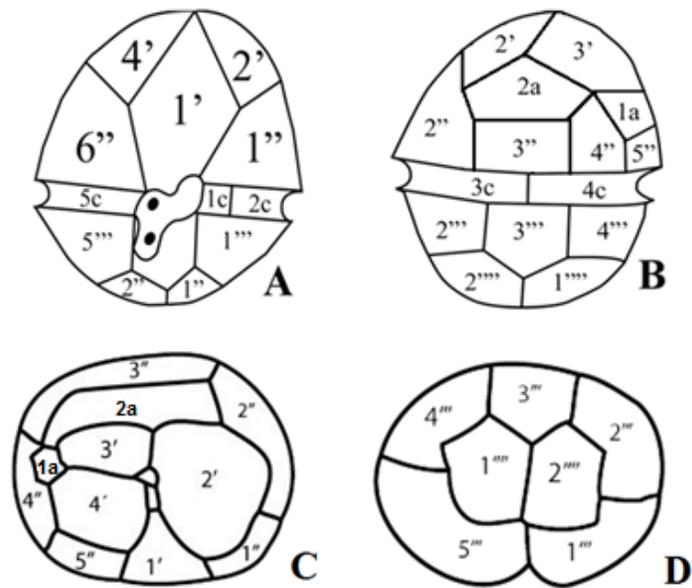


Figura 11. Esquema de la fórmula de la teca de *D. baltica*; vista ventral (A); Vista dorsal (B); Vista apical (C); Vista antapical (D). Esquema original.

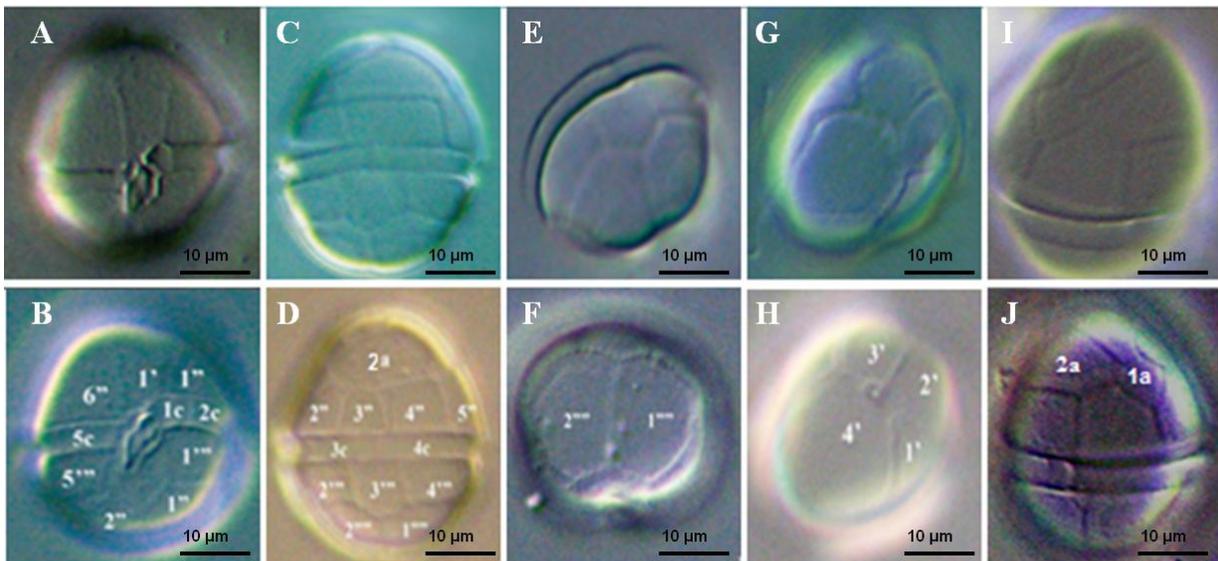


Figura 12. Fotografías de microscopio fotónico de la teca de *D. baltica*. Vista ventral (A, B). Vista dorsal (C, D). Vista antapical (E, F). Vista apical (G, H). Placas intercalares anteriores (I, J). Imágenes tomadas de las muestras: DFXo-224 y DFXo-225.

Paralelamente se realizó la identificación de los quistes de *D. baltica* presentes en sedimento con base en las descripciones de trabajos previos de la reproducción de esta especie (Chesnick y Cox, 1987,1989). En general las dimensiones de los quistes varían entre 30 µm de largo y 20 µm de ancho y 50 µm de largo y

30 μm de ancho. Son alargados con una pared gruesa y una ligera depresión en vista lateral que se asemeja a la forma de un frijol, tienen una coloración parda más oscura que la célula vegetativa. En vista ventral se distingue de manera muy tenue lo que fuera la placa 1', en algunos quistes se observa el estigma presente en la célula vegetativa en la zona ventral. No presenta espinas ni proyecciones accesorias (Fig.13).

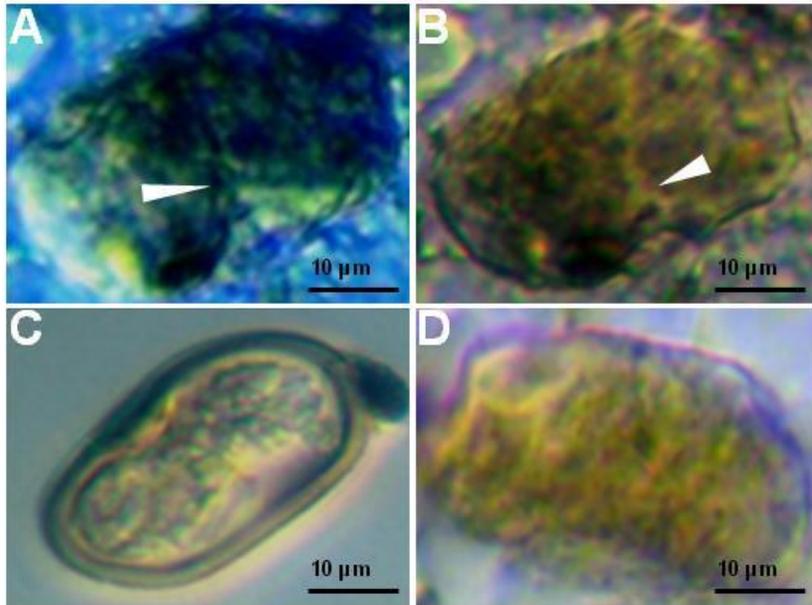


Figura 13. Morfología de los quistes de resistencia de *D. baltica*. A) Tenue forma de placa 1' (flecha). B) Estigma en zona lateral (flecha). C) Pared gruesa que recubre al cigoto. D) No se distinguen placas de la tabulación de la célula vegetativa. Imágenes tomadas de las muestras: DFXo-231.1 y DFXo-238.2.

7.4 Conformación de la teca de *Durinskia baltica*

Para la descripción de la apariencia de la teca se analizaron fotografías obtenidas con MEB, encontrando que la teca es lisa y carece de ornamentaciones o espinas. Las líneas de sutura son muy delgadas y la fórmula tecal obtenida por la técnica de blanqueamiento con hipoclorito de sodio coincidió con las placas que se observan en las imágenes de MEB (Fig.14).

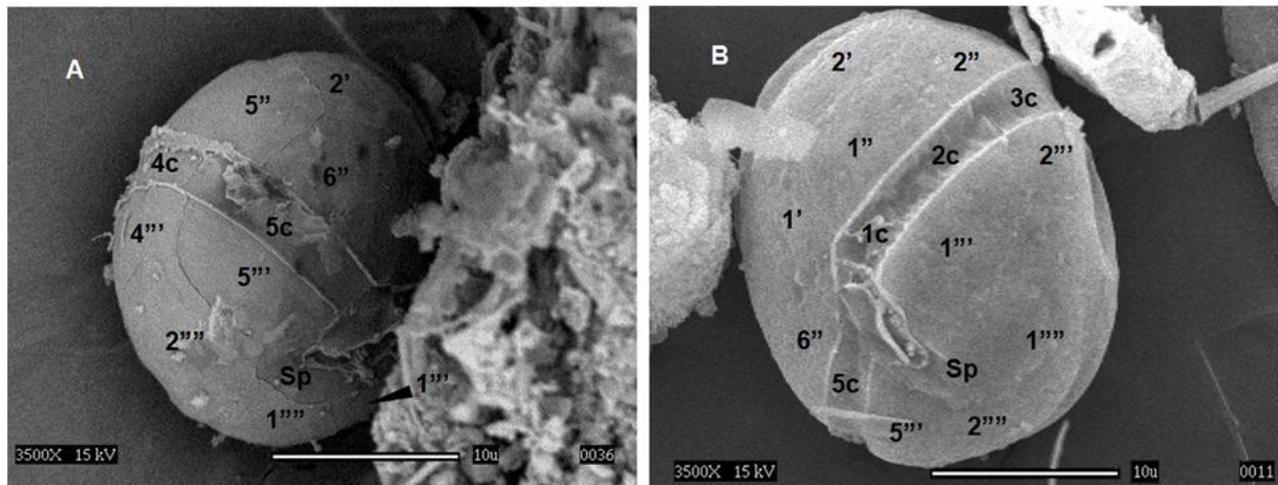


Fig. 14 Apariencia de la teca de *D. baltica*. A) Tabulación en vista ventral, lateral izquierda. B) Tabulación en vista ventral, lateral derecha.

La distribución y número de placas cingulares y sulcales se observa en las Figuras 16A y 16B en donde se aprecian 4 placas en total, la placa sulcal anterior es la placa de menor tamaño y se ubica justo debajo de la placa 1', la placa sulcal derecha es grande y forma un pliegue que cubre parte de la placa sulcal izquierda, la placa sulcal posterior es la más grande y casi alcanza la región antapical terminando justo en la sutura de las placas 1'''' y 2'''' (Fig.15). El número y arreglo de las placas que componen la teca coinciden con la especie *Durinskia baltica* descrita por Carty y Cox en 1986.

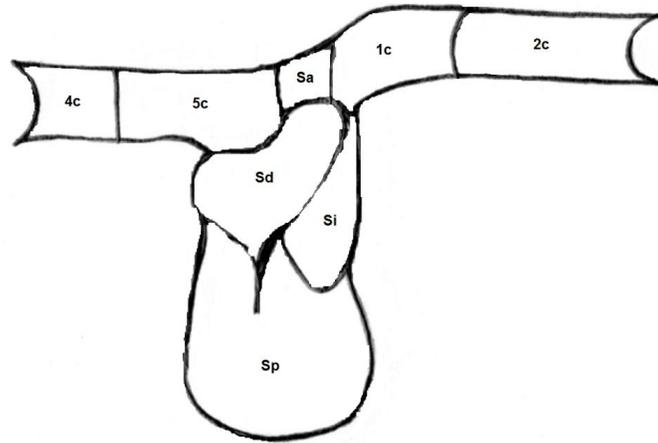


Figura15. Esquema de la forma y disposición de placas sulcales de *D. baltica*. Esquema original

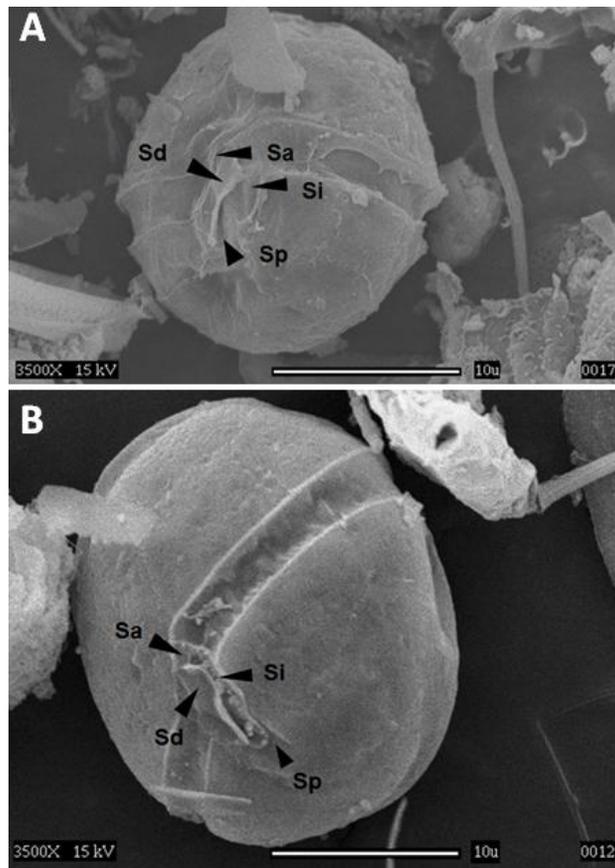


Figura 16. Imágenes de MEB para la descripción de la forma y posición de las placas sulcales de *D. baltica*. A) Vista ventral lateral derecha: Sa (sulcal anterior); Si (sulcal izquierda); Sd (sulcal derecha); Sp (sulcal posterior). B) Vista ventral de *D. baltica*.

7.5 Estructura celular de *Durinskia baltica*

Se analizaron imágenes de cortes con MET para realizar una descripción de la estructura interna de *D. baltica*, en estas imágenes se observó el típico núcleo dinocarion con cromosomas permanentemente condensados y un segundo núcleo incorporado de un simbiote eucarionte, la presencia de este segundo núcleo es característico de *D. baltica*.

En la figura 17A, se observa un corte longitudinal en vista ventral de una célula vegetativa, en donde se aprecian los dos núcleos y diferentes organelos celulares. En 17B se observa un acercamiento mediante el cual se puede distinguir con mayor claridad el aparato de Golgi y algunas vesículas. En la figura 17C se observa un acercamiento del complejo del estigma, también se distingue una púsula tubular simple dentro de una cámara pusular la cual no contiene vesículas y está compuesta por dos membranas cercanamente apretadas que podrían estar invaginadas.

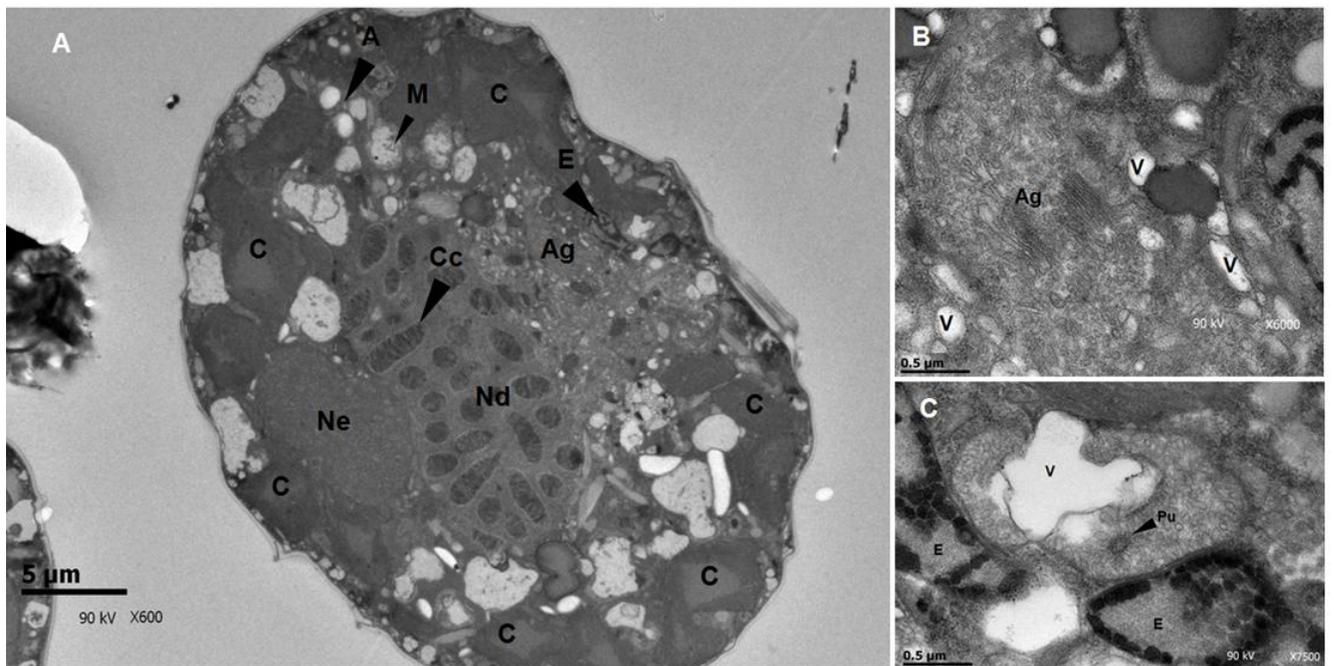


Figura 17. Estructura interna de *D. baltica*. A) Nd: dinocarion, Cc: cromosomas condensados, Ne: núcleo eucariótico simbiote, Ag: aparato de Golgi, E: estigma, C: cloroplastos, M: mitocondria, A: gránulos de almidón. B) Ag: aparato de Golgi, V: vesículas. C) E: estigma, Pu: púsula, V: vesícula pusular.

7.6 Etapas del ciclo de vida de *Durinskia baltica*

Se reconstruyó el ciclo de vida asexual y sexual de *D. baltica in situ*, observando que la etapa dominante del ciclo era la célula vegetativa con motilidad. La forma de reproducción predominante dentro del florecimiento fue la reproducción asexual en la cual la célula lleva a cabo la mitosis completa generando dos células hijas haploides por desmoquisis, la teca de las células hijas es muy delgada y se va endureciendo con el crecimiento (Fig.18).

En la figura 18A se observa a la célula en profase, en 18B la célula se encuentra en metafase. En la imagen 18C la célula se observa en anafase temprana y en 18D se observa en anafase tardía. En 18E la célula se encuentra en telofase. Finalmente en las imágenes 18F y 18G comienza la citocinesis y en la imagen 18H se observan las dos células hijas la representación del proceso completo de mitosis se esquematiza en la figura 19. Estas etapas fueron registradas a lo largo del año pero con mayor frecuencia en las fechas en donde no se encuentra presente el florecimiento (Tabla 8).

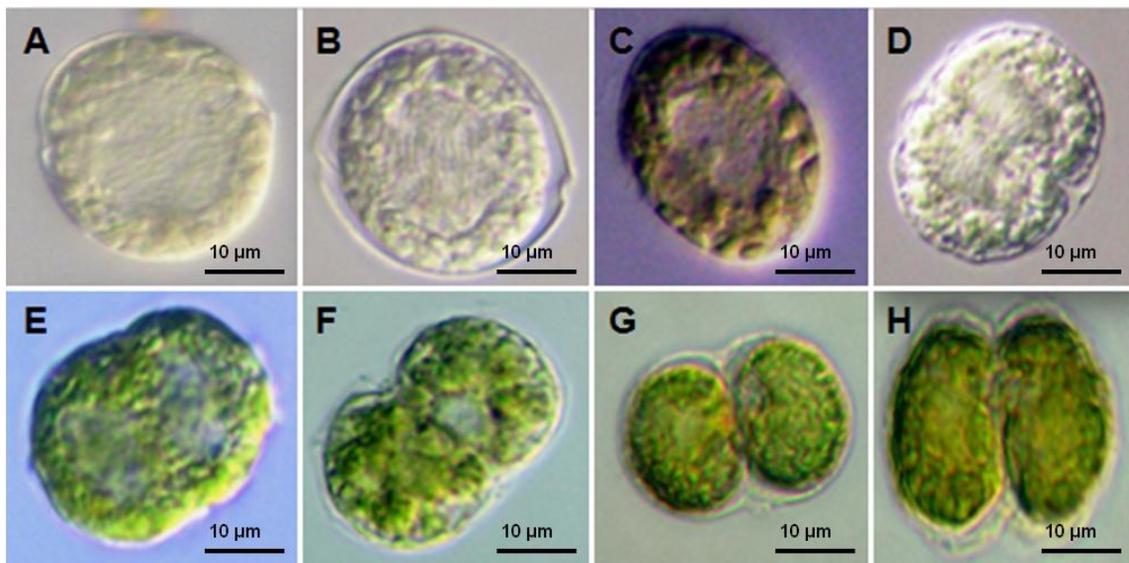


Figura 18. Mitosis completa de *D. baltica*. A) Profase (referencia de herbario: DFXo-223.3). B) Metafase (referencia de herbario: DFXo-217.3). C) Anafase temprana (referencia de herbario: DFXo-228.4). D) Anafase tardía (referencia de herbario: DFXo-217.3). E) Telofase (referencia de herbario: DFXo-229.2). F-G) Citocinesis (referencias de herbario: DFXo-232.2 y DFXo-237.2). H) Células hijas (referencia de herbario: DFXo-239.1).

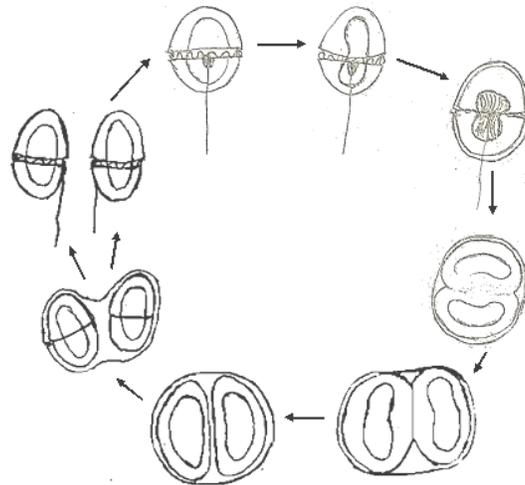


Figura 19. Esquema del proceso de reproducción asexual de *D. baltica*. Esquema original

Tabla 8. Fechas de observación de etapas del ciclo asexual de *D. baltica*

Fecha de recolección	Muestra	Observación
21/03/2011	223.3	Célula en profase
07/04/2010	217.3	Célula en metafase
05/06/2011	228.4	Célula en anafase temprana
07/04/2010	217.3	Célula en anafase tardía
19/06/2011	229.2	Célula en telofase
07/08/2011	232.2	Célula en citocinesis
18/09/2011	237.2	Célula en citocinesis
18/09/2011	239.1	Células hijas

En la reproducción sexual de *D. baltica*, se observó que las células vegetativas actúan como gametos isogámicos y no presentan ninguna diferencia morfológica notoria con el resto de las células vegetativas. En general se pueden distinguir 4 etapas del proceso de reproducción sexual. La primera consiste en el reconocimiento de los gametos en el cual, uno de los gametos nada en círculos frente al otro en vista ventral (Fig. 20A), posteriormente uno de los gametos se coloca en vista apical hacia la parte cingular del otro, generando una orientación perpendicular de los pares cingulares (Fig. 20B).

En la siguiente etapa comienza la fusión de los núcleos y citoplasmas (Fig. 20C y 20D) con los gametos aún en movimiento, en la tercera etapa se forma un pre-planocigoto (con dos flagelos) de 36 (L) y 22 μm (A) (Fig. 20E), posteriormente este pre-planocigoto pierde los flagelos (Fig. 20F y 20G) comienza la última etapa que corresponde a la formación del planocigoto el cual mide 42-46 μm (L) y 20-25 μm (A) y no se distingue el arreglo original de la teca (Fig. 20H), posteriormente la pared del planocigoto se

endurece y adquiere una coloración parda que da paso a la formación del hipnocigoto o quiste de resistencia, la representación del proceso de reproducción sexual completo se ilustra en la figura 21. Las etapas del ciclo sexual se registraron en los meses de abril y agosto en los cuales el florecimiento de *D. baltica* estuvo presente (Tabla 9).

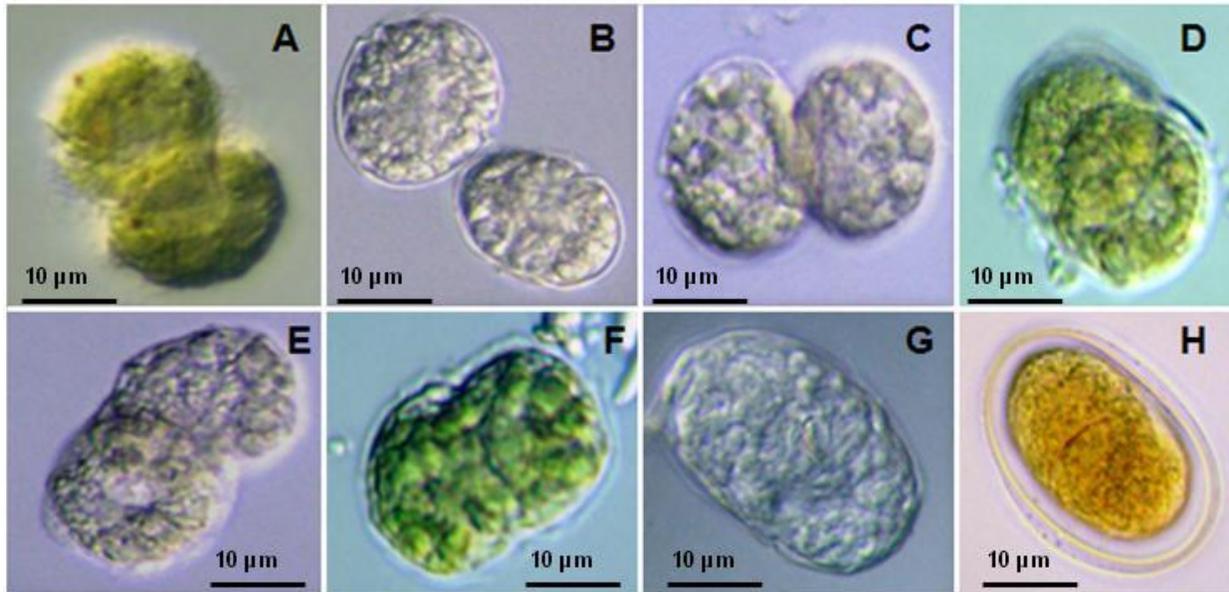


Figura 20. Reproducción sexual de *D. baltica*. A) Reconocimiento (referencia de herbario: DFXo-224.4). B) Orientación perpendicular de los pares cingulares (referencia de herbario: DFXo-224.1). C-D) Fusión de núcleos (referencia de herbario: DFXo-224.4 y DFXo-232.1). E-F) Formación del pre-planocigoto (referencia de herbario: DFXo-224.4 y DFXo-232.1). G-H) Planocigoto (referencia de herbario: DFXo-224.4 y DFXo-224.1).

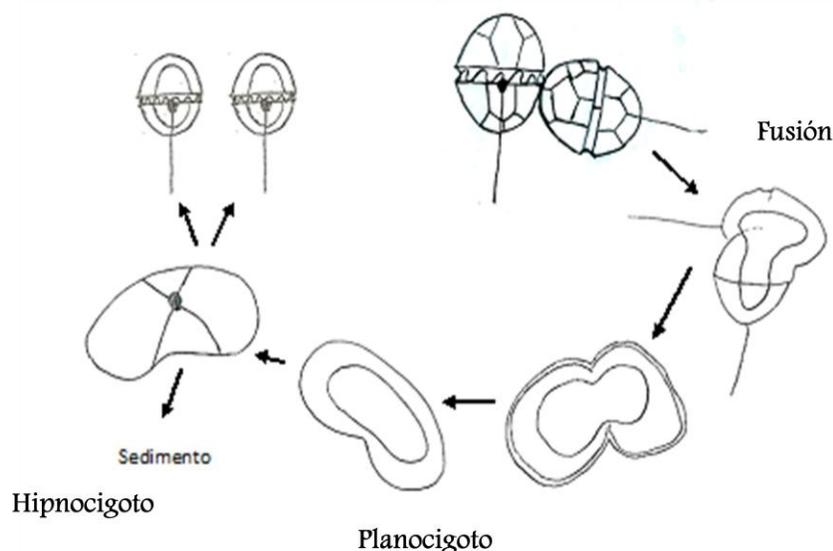


Figura 21. Representación esquemática del proceso de reproducción sexual de *D. baltica*. Esquema original.

Tabla 9. Fechas de observación de etapas del ciclo sexual de *D. baltica*.

Fecha de recolección	Muestra	Observación
03/04/2011	224.1	Orientación perpendicular de los pares cingulares Planocigoto
	224.4	Reconocimiento Fusión de núcleos Formación del pre-planocigoto Planocigoto
07/08/2011	232.1	Fusión de núcleos Formación del pre-planocigoto

7.7 Densidad celular y quistes de resistencia de *Durinskia baltica*

7.7.1 Densidad de células vegetativas

La variación en la densidad mensual de septiembre de 2010 a agosto de 2011 entre el sitio del canal de El Japón en Xochimilco y los tres sitios en Tláhuac (TE, TM y TS), muestra que durante este periodo la mayor densidad de *D. baltica* se registró en el canal de El Japón en Xochimilco con valores de 1×10^6 céls.L⁻¹. Se registró también en los sitios de Tláhuac con densidad variable, pero en ninguno las densidades de *D. baltica* alcanzaron la menor magnitud registrada en el canal de El Japón.

En particular, la variación de la densidad de células vegetativas en el sitio de Xochimilco en este periodo mostró que el pulso más alto se presentó en abril de 2011 con 6×10^6 céls.L⁻¹, mientras que la menor densidad se registró en el periodo comprendido entre noviembre-enero de 2010 con 1×10^4 céls.L⁻¹, el resto del año las densidades se mantuvieron relativamente constantes con valores de $\pm 1 \times 10^5$ y 1×10^6 céls.L⁻¹ (Fig. 22).

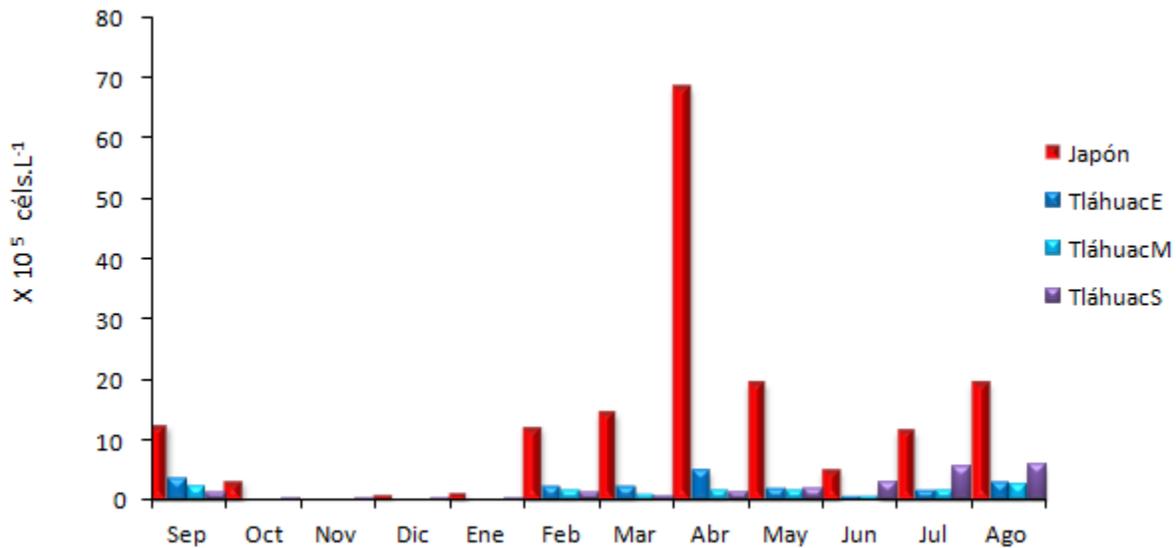


Figura 22. Variación estacional de la densidad de células vegetativas de *D. baltica* en Xochimilco (canal de El Japón) y Tláhuac (TE, TM y TS) de septiembre-diciembre de 2010 y enero-agosto de 2011.

7.7.2 Densidad de quistes de resistencia

Los valores más altos de densidad de quistes de resistencia se registraron en el canal de El Japón en el mes de agosto de 2011 con 1×10^5 quistes m⁻². Los valores más bajos se registraron en el mes de mayo de 2011 con 1×10^5 quistes m⁻². En los sitios de Tláhuac las densidades fueron mucho menores en comparación con El Japón, solo en el mes de diciembre de 2010 en el punto de Tláhuac (TE), se registró una densidad mayor que en el sitio de El Japón con una diferencia de 21, 220 quistes m⁻². En general de los tres sitios de Tláhuac el sitio TS, es el que registró la menor densidad de quistes no así las menores densidades celulares (Fig. 23).

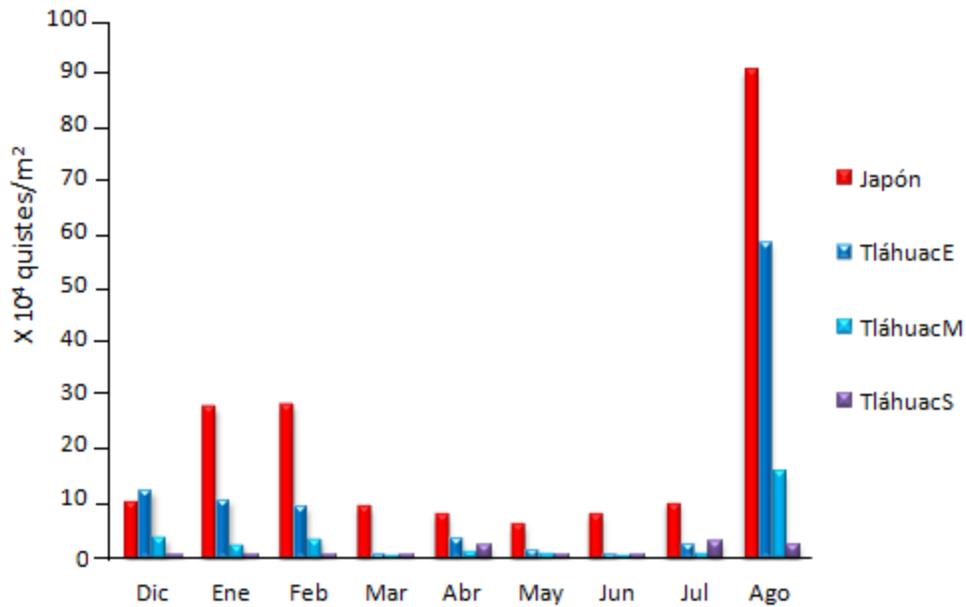


Figura 23. Variación estacional de la densidad de quistes de resistencia de *D. baltica* en los sitios de Xochimilco (canal de El Japón) y Tláhuac (TE, TM y ES) de diciembre de 2010 y enero-agosto de 2011.

Una gráfica de tendencia en el tiempo con categorías ordenadas (fecha de recolección) mostró la relación entre las densidades de células vegetativas y de quistes del sitio de El Japón. En este punto las densidades de ambos tienen una presencia importante y las tendencias de las pendientes ilustraron la contribución de los quistes registrados en sedimento, a la formación del florecimiento.

Con esta relación se observó que cuando la densidad de células vegetativas aumenta, la densidad de quistes disminuye en todos los casos. Resalta que en el mes de abril de 2011 cuando se registró la máxima densidad de *D. baltica*, la presencia de quistes en sedimento fue muy baja (Fig. 24), opuesto a lo que se observó al final del mes de junio de 2011, cuando la densidad de quistes en el sedimento fue la más alta. Asimismo, el análisis quincenal permitió detectar que los cambios de la densidad de la especie estudiada pueden ser rápidos, tanto en el paso hacia la formación de quistes como en la germinación de los mismos.

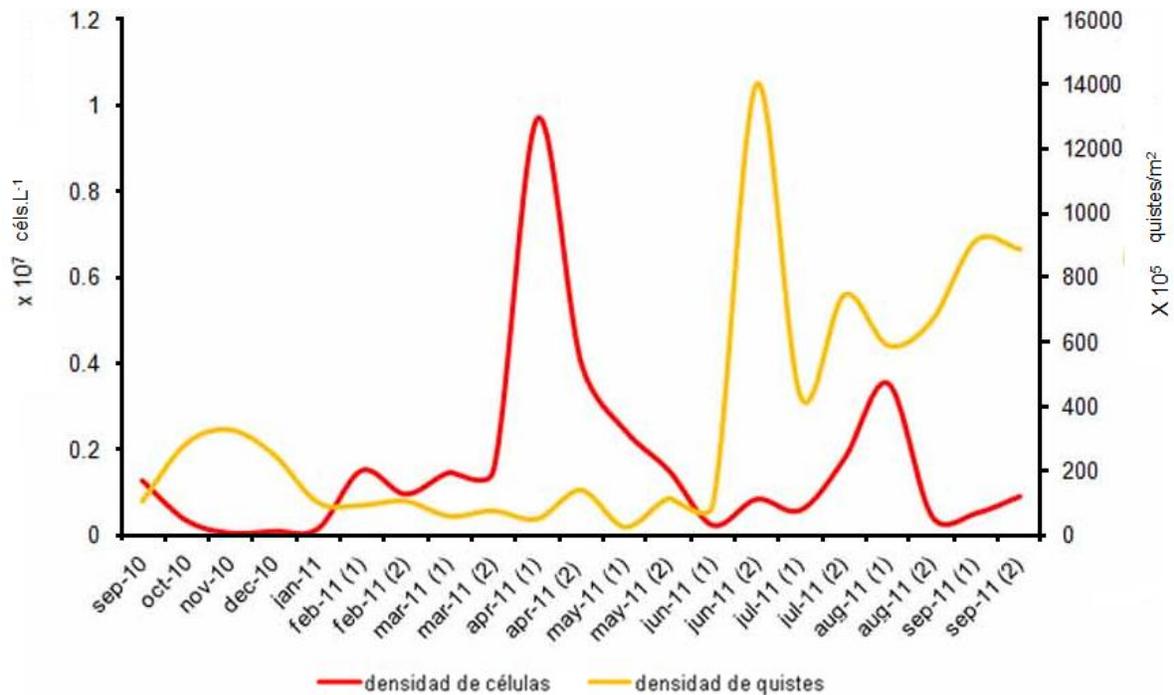


Figura 24. Relación de la variación estacional de células vegetativas y quistes de resistencia de *D. baltica* en el sitio del canal de El Japón (Xochimilco) de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.

7.8 Relación entre el florecimiento de *D. baltica* y la comunidad fitoplanctónica (evaluada como concentración de clorofila-a)

Se observó, en gráficas de tendencia en el tiempo, que cuando la densidad de la dinofita es mayor al 30 % de la densidad total del fitoplancton (Tablas 4 y 7), influye de forma directa en las concentraciones de la clorofila-a. Esta tendencia se observa en los sitios de canal El Japón y de Tláhuac-S, en el periodo de abril a julio de 2011 (Fig. 25A).

En los sitios E y M de Tláhuac no se observó una relación entre los valores de clorofila-a y las densidades de la dinofita ya que en los meses en donde se registraron las menores densidades de *D. baltica*, la clorofila-a no presenta descensos importantes; *D. baltica* no es la especie dominante en ninguno de los sitios de Tláhuac (Fig. 25B-D).

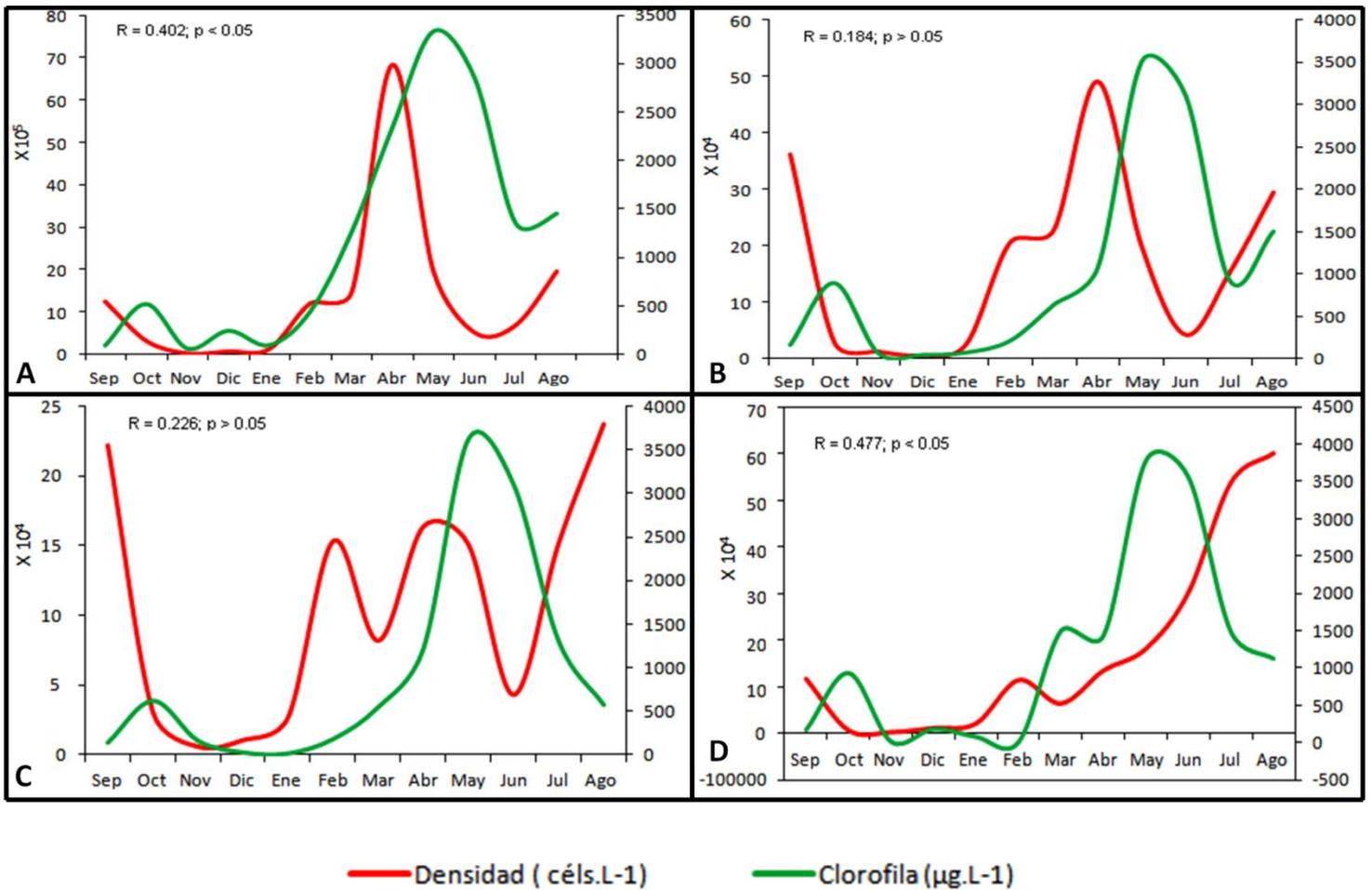


Figura 25. Relación entre las concentraciones de clorofila a y las densidades de *D. baltica* en los 4 sitios de recolección de septiembre de 2010 a agosto de 2011. A) Canal de El Japón (Xochimilco). B) Tláhuac E. C) Tláhuac M. D) Tláhuac S. Se anotan los valores de correlación de Pearson y el valor de significancia estadística (Anexo 1).

7.9 Variables climáticas

Con respecto al análisis del efecto de la variación estacional de la temperatura ambiental sobre la variación en la densidad de *D. baltica*, se observó una relación positiva ya que el aumento en la temperatura se ve reflejado en un aumento en la densidad de *D. baltica* (Fig.26).

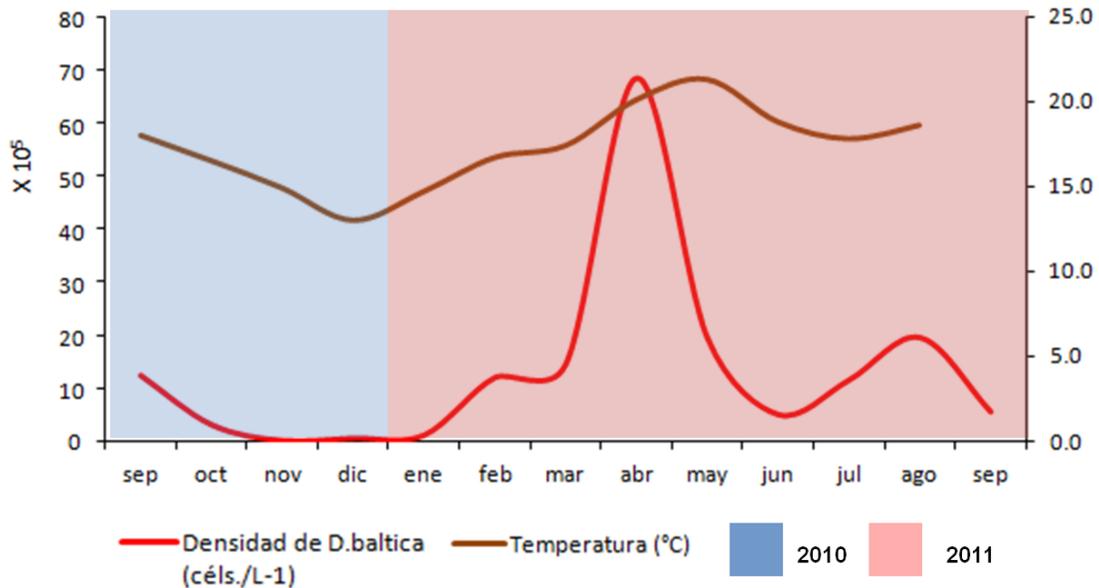


Figura 26. Relación entre la densidad de *D. baltica* en el sitio de El Japón y la temperatura ambiental durante el periodo de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.

La comparación entre la precipitación registrada a lo largo de este periodo y la densidad celular de *D. baltica*, mostró una relación en septiembre de 2010 y abril de 2011 en donde el aumento de la precipitación se refleja en el aumento de la densidad del dinoflagelado, sin embargo en los meses de junio y julio de 2011 cuando se presentan los valores de precipitación más altos, las densidades de *D. baltica* decayeron comenzando a remontar en el mes de septiembre de 2011 junto con la disminución de la precipitación (Fig. 27).

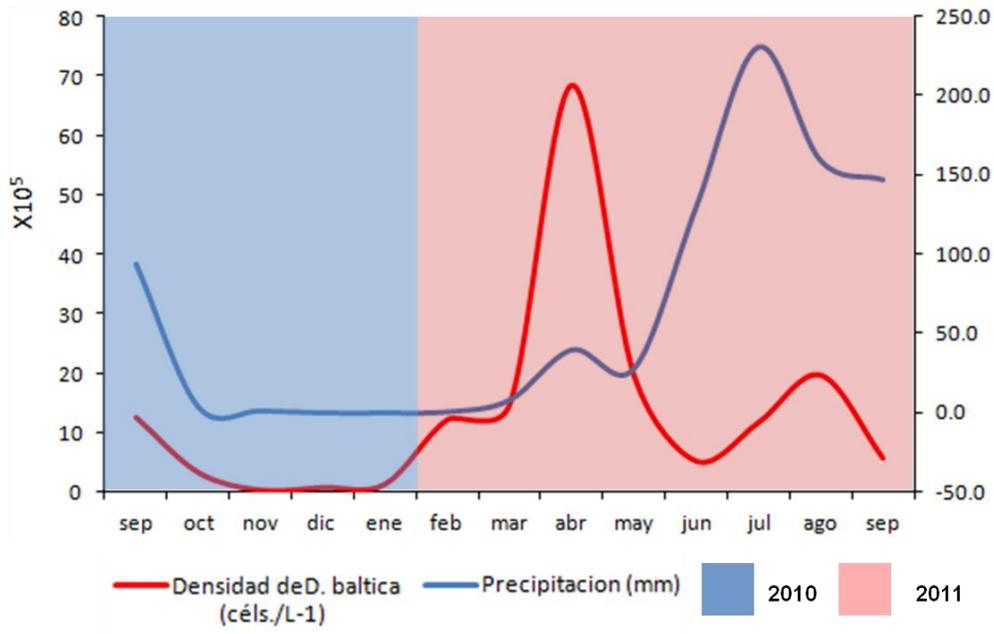


Figura 27. Relación entre la densidad de *D. baltica* en el sitio de El Japón y la precipitación durante el periodo de septiembre de 2010 a septiembre de 2011.

7.10 Resultados de análisis estadísticos de datos

7.10.1 Análisis del efecto de los factores ambientales (variables abióticas del cuerpo de agua) sobre el fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a

7.10.1.1 Canal de “El Japón”

En el canal de El Japón, el análisis del efecto de los factores ambientales (variables abióticas) sobre la concentración de clorofila-a como variable biológica originó un modelo de regresión estadísticamente significativo (ANOVA de la regresión, $p = 0.0005$) que explicó el 70% de la variabilidad del fitoplancton, con residuos de la regresión independientes (estadístico de Durbin-Watson = 2.842).

En este modelo, la evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal (Fig. 28A), sin asimetrías. Asimismo, la evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45° (Fig. 28B). La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero para todos los niveles de los valores predichos (Fig.28C).

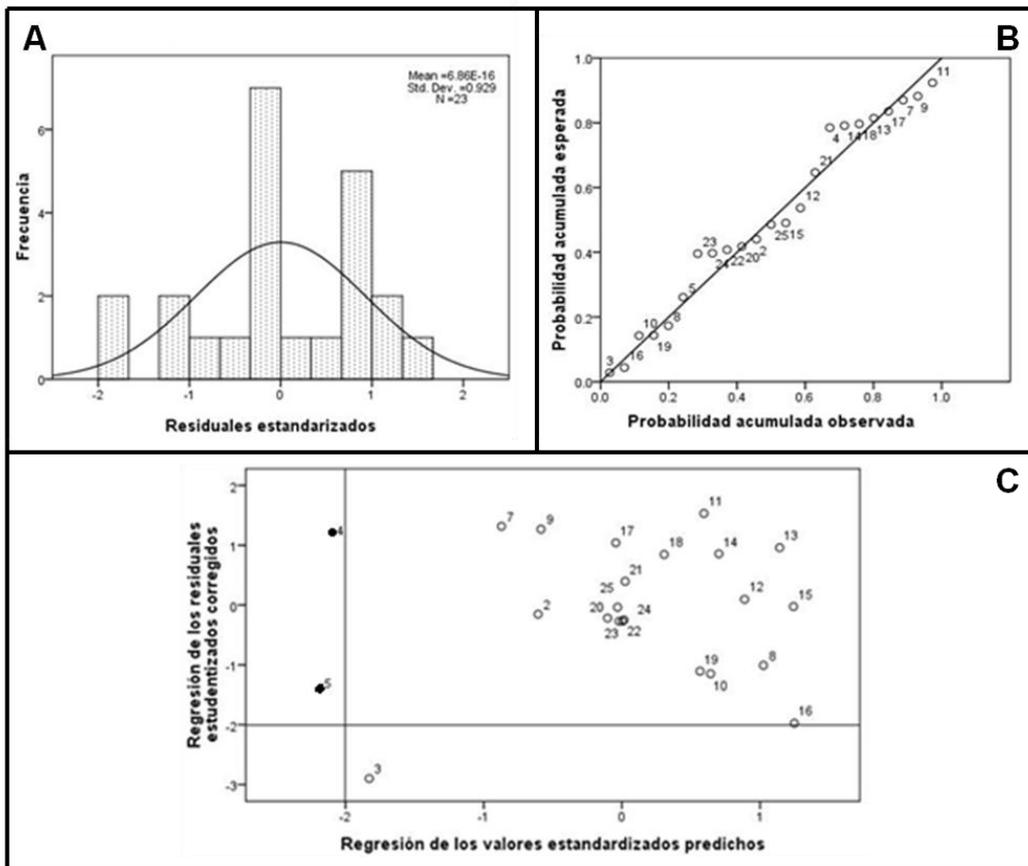


Figura 28. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de El Japón. A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

Con base en la ecuación de regresión, el análisis de regresión multivariado para el canal de El Japón produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Clorofila-a} = -3.053 - 0.601_{\text{NITRATO}} - 4.958_{\text{NITRITO}} + 3.690_{\text{TEMPERATURA}}$$

Este modelo indicó que la clorofila disminuye en 3.053 unidades cada vez que el nitrato desciende en 0.601 unidades y el nitrito en 4.958 unidades, mientras que desciende en la proporción mencionada cada vez que la temperatura aumenta en 3.690 unidades.

El fitoplancton del canal de El Japón, evaluado como concentración de clorofila- a, no se correlacionó significativamente con todas las variables estudiadas, sin embargo, se produjo un modelo significativo que explicó un porcentaje muy alto de la variabilidad de la clorofila (Anexo 1).

7.10.1.2 Sitio TE, Laguna de Tláhuac

El modelo de regresión del sitio de Tláhuac (TE) demostró ser estadísticamente significativo (ANOVA de la regresión, $p = 0.001$) explicando más del 70% de la variabilidad del fitoplancton, con residuos de la regresión independientes (Durbin-Watson = 1.782). La evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal (Fig. 29 A). La evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45° (Fig. 29 B). La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que casi todos los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero a excepción de los casos 4 y 17, sin embargo el sesgo en estos casos es mínimo (Fig. 29 C).

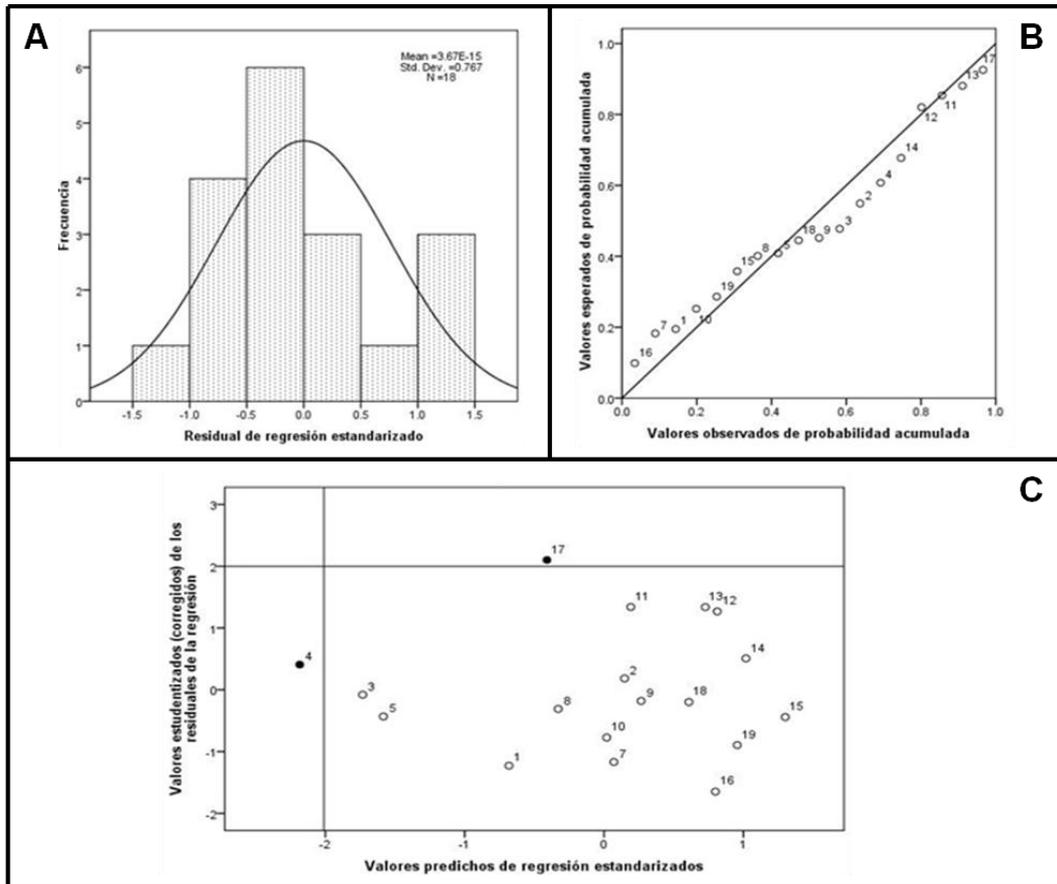


Figura 29. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TE (Tláhuac). A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

La ecuación del análisis de regresión multivariado para el sitio de Tláhuac (TE) produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Clorofila-a} = -10.976 - 0.106_{\text{NID}} + 0.409_{\text{FÓSFORO}} + 1.881_{\text{SÍLICE}} - 3.601_{\text{pH}} + 6.577_{\text{TEMPERATURA}} - 1.164_{\text{OD}} + 0.285_{\text{CONDUCTIVIDAD}}$$

Este modelo indicó que la clorofila disminuye en 10.976 unidades cada vez que el nitrógeno inorgánico disuelto (NID) desciende en 0.106 unidades, el pH en 3.601 unidades y el oxígeno disuelto en 1.164 unidades. Por otra parte, la clorofila desciende en la misma proporción, cada vez que el fósforo aumenta en 0.409 unidades, el sílice en 1.881 unidades, la temperatura en 6.577 unidades y la conductividad disminuye en 0.285 unidades. En el sitio de Tláhuac (TE), El pH no mostró colinearidad con la temperatura, como en canal de El Japón y también el pH y la temperatura fueron las variables con un valor mayor de correlación, estadísticamente significativo.

7.10.1.3 Sitio TM, Laguna de Tláhuac

El modelo de regresión del sitio de Tláhuac (TM) demostró ser estadísticamente significativo (ANOVA de la regresión, $p = 0.0005$) explicando más del 80% de la variabilidad del fitoplancton, con residuos de la regresión independientes (Durbin-Watson = 1.715). La evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal sin asimetrías (Fig. 30A). La evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45° (Fig. 30B). La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que casi todos los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero, a excepción del caso 4 el cual no representó un sesgo de importancia (Fig. 30C).

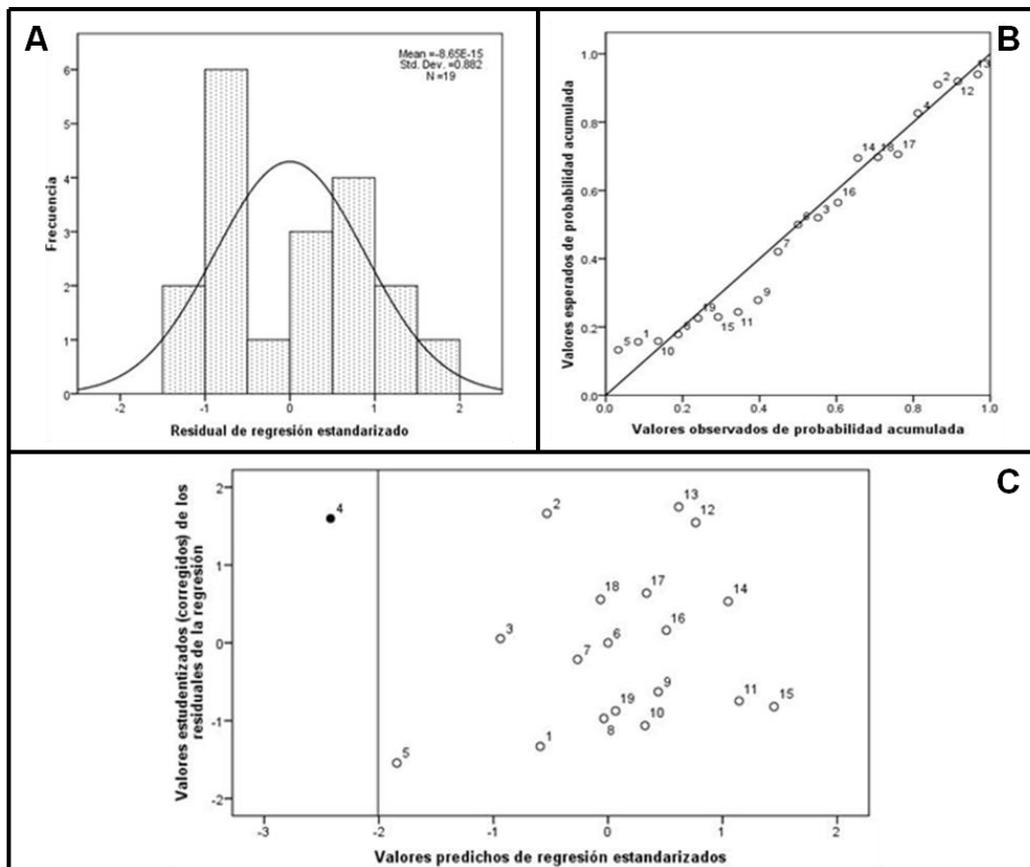


Figura 30. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TM (Tláhuac). A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

La ecuación del análisis de regresión multivariado para el sitio de Tláhuac (TM) produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Clorofila-a} = -41.151 + 6.254_{\text{pH}} - 0.601_{\text{NITRATO}} + 11.882_{\text{TEMPERATURA}} - 1.208_{\text{OD}}$$

Este modelo indicó que la clorofila-a disminuye en 41.151 unidades cada vez que el pH aumenta en 6.254 unidades y la temperatura en 11.882, a su vez la clorofila disminuye en la misma proporción cuando el nitrato disminuye en 0.601 unidades y el oxígeno disuelto en 1.208 unidades. En este modelo se observó que al igual que en TE la temperatura y el pH resultaron ser las variables con el valor más alto de correlación.

7.10.1.4 Sitio TS, Laguna de Tláhuac

El modelo de regresión del sitio de Tláhuac (TS) demostró ser estadísticamente significativo (ANOVA de la regresión, $p = 0.002$) explicando más del 50% de la variabilidad del fitoplancton, con residuos de la regresión independientes (Durbin-Watson = 1.808). La evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal sin asimetrías (Fig. 31). La evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45°. La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que casi todos los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero a excepción del caso 5 el cual no representó un sesgo de importancia.

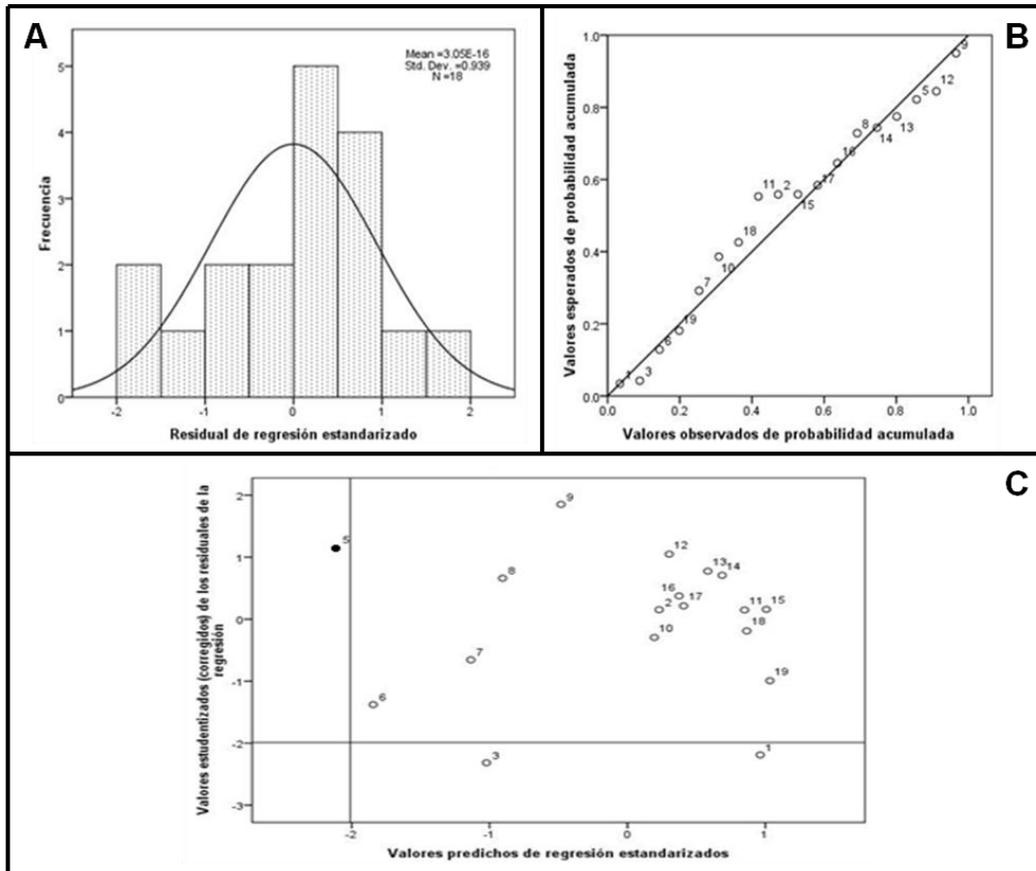


Figura 31. Resultados gráficos del análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a en el canal de TS (Tláhuac). A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

La ecuación del análisis de regresión multivariado para el sitio de Tláhuac (TS) produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Clorofila-a} = -8.030 - 8.845_{\text{pH}} + 11.580_{\text{TEMPERATURA}}$$

Este modelo indicó que la clorofila-a disminuye en 8.030 unidades cada vez que el pH disminuye en 8.845 unidades y la temperatura aumenta en 11.580 unidades. En este modelo se puede observar que en el sitio TS solo las variables pH y temperatura están correlacionadas significativamente.

7.10.2 Análisis del efecto de los factores ambientales (variables abióticas del cuerpo de agua) sobre la densidad celular y la densidad de quistes

7.10.2.1 Densidad celular de *Durinskia baltica* y factores ambientales

El análisis de la densidad celular en el canal de El Japón en función de la densidad de quistes y los factores monitoreados en el cuerpo de agua mostró que los valores de correlación estadísticamente significativos correspondieron sólo al fósforo total y la temperatura, pero se conservaron también, como variables explicativas, la densidad de quistes y el nitrógeno inorgánico disuelto para mayor solidez del modelo, por estar correlacionadas entre sí (Anexo 2).

Este modelo de regresión explica un 40% de la variabilidad de la densidad celular con residuos de la regresión independientes (Durbin-Watson = 1.794). La evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal sin asimetrías (Fig. 32). La evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45°. La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que todos los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero.

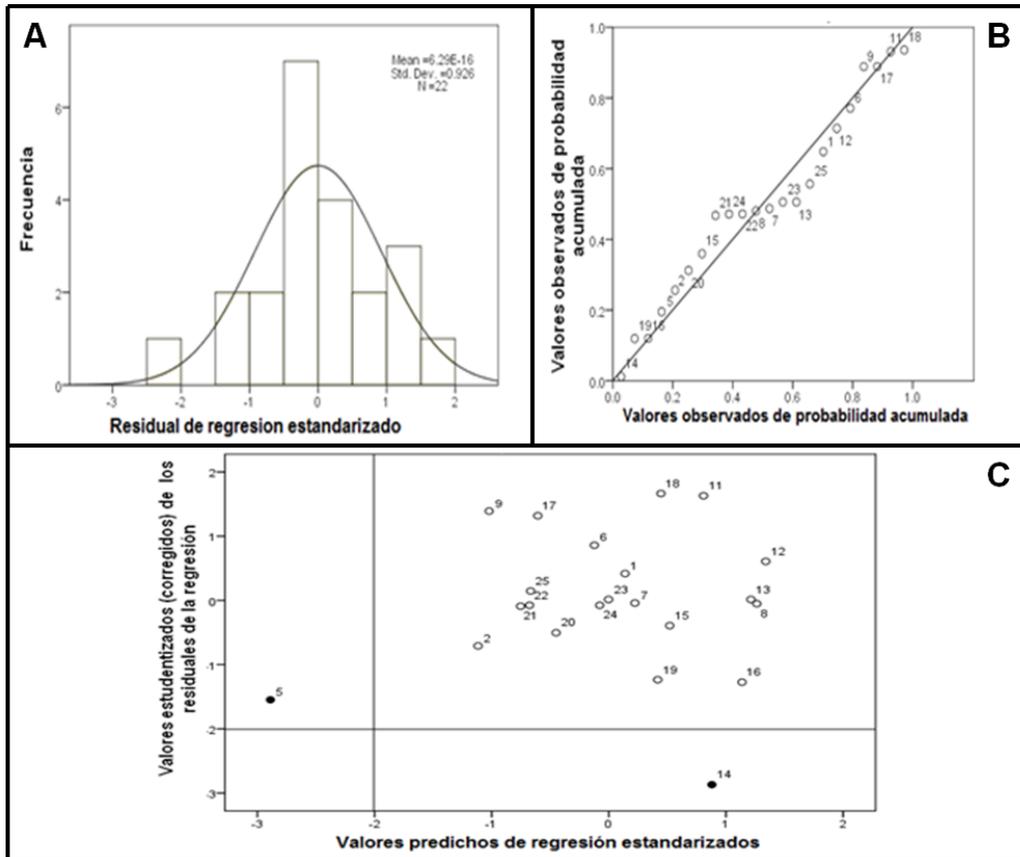


Figura 32. Resultados gráficos del análisis de regresión de la densidad celular de *D. baltica* y factores ambientales en el canal de El Japón. A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

La ecuación de regresión del análisis multivariado de la densidad celular de *D. baltica* en el sitio del canal El Japón (Xochimilco) produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Densidad de células} = 6.717 - 0.397_{\text{QUISTES}} - 1.235_{\text{NID}} - 0.137_{\text{FÓSFORO}} + 4.217_{\text{TEMPERATURA}}$$

Este modelo indicó que la densidad celular aumenta en 6.717 unidades cuando la densidad de quistes presenta una disminución en 0.397 unidades y los nutrientes disminuyen: el nitrógeno inorgánico disuelto en 1.235 unidades y el fósforo en 0.137 unidades. Fue notable que cada incremento en la unidad celular (6.717 unidades) se relacionó con un aumento en la temperatura del agua (4.217 unidades).

7.10.2 Densidad de quistes de resistencia de *Durinskia baltica* y factores ambientales

De acuerdo con este modelo la regresión explica un 70% de la variabilidad de la densidad de quistes de resistencia. El modelo produjo residuos de la regresión independientes (Durbin-Watson = 2.293). La evaluación gráfica de la normalidad mostró que la frecuencia de distribución de los valores de los residuales estandarizados siguió una distribución normal sin asimetrías (Fig. 33). La evaluación gráfica de la probabilidad mostró los puntos muy cercanos a una recta de 45°. La gráfica de la dispersión estudentizada mostró que todos los residuales corregidos se distribuyeron equitativamente alrededor de cero a excepción del caso 12 el cual no representa un sesgo significativo.

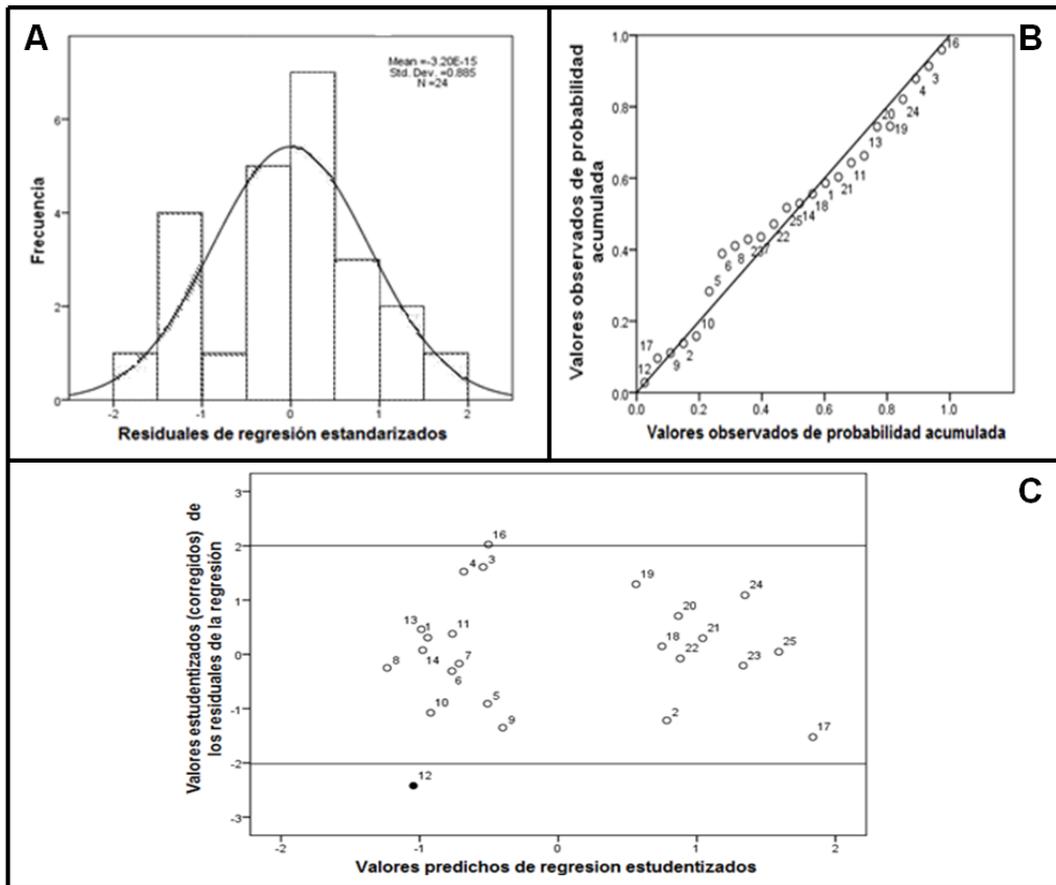


Figura 33. Resultados gráficos del análisis de regresión de la densidad de quistes de *D. baltica* y factores ambientales en el canal de El Japón. A) Gráfica de frecuencia de distribución de los residuales estandarizados. B) Gráfica de probabilidad acumulada vs. observada con respecto a una recta de 45°. C) Dispersión de los casos estudiados alrededor de cero. Se marcan los límites de +2 y -2 dentro del límite impuesto por el modelo (3 unidades de SD).

La ecuación de regresión del análisis multivariado de la densidad de quistes de resistencia de *D. baltica* en el sitio del canal El Japón (Xochimilco) produjo el siguiente modelo matemático:

$$\text{Densidad de quistes} = -4.666 + 2.040_{(\text{NID})} + 0.223_{(\text{PTOT})} - 0.058_{(\text{SiO}_2)} - 3.633_{(\text{pH})} + 3.548_{(\text{CONDUCTIVIDAD})}$$

Este modelo indicó que la densidad de quistes disminuye en 4.666 unidades cuando los nutrientes incrementan sus concentraciones, el nitrógeno inorgánico disuelto en 2.040 unidades y el fósforo total en 0.223 unidades y cuando la conductividad aumenta en 3.548 unidades. Por otra parte la densidad de quistes disminuye en la misma proporción cuando el sílice disminuye en 0.058 unidades y el pH en 3.633 unidades.

7.10.3 Correlación parcial entre la densidad celular de *Durinskia baltica* en estado vegetativo y en estado de quiste, en la zona de Xochimilco-Tláhuac

La densidad de células vegetativas y de quistes de resistencia mostraron tener una presencia importante. En la figura 22 se observó que las tendencias de las pendientes ilustran la contribución de los quistes registrados en el sedimento, a la formación del florecimiento. Esto indicó que el número de organismos en estado vegetativo en la columna de agua, se asoció con el número de organismos en estado quístico y esta asociación fue estadísticamente significativa ($p = 0.03$), (Anexo 3).

8. Discusión

8.1 La zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac

8.1.1 Estado de la cuenca y calidad del agua

Los ríos y cuencas de drenaje que constituyen la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, han sido y son el motor biológico y medio de subsistencia de muchas comunidades en las diferentes regiones circundantes. Sin embargo las diferentes formas de aprovechamiento de estos recursos promovidos por el desarrollo industrial, han transformado dramáticamente el paisaje hidrológico (Toledo, 2006), lo que ha provocado el cambio en el uso de suelo y consecuentemente un aumento en la demanda de los recursos hídricos.

Para cubrir esta demanda, la explotación de los acuíferos ha aumentado aceleradamente en los últimos años, esta sobreexplotación ha afectado drásticamente la cantidad y calidad de estos recursos hídricos. Los niveles de agua que al inicio del siglo se encontraban someros, han descendido hasta alcanzar profundidades medias de 40 metros (Vázquez-Ocampo y Domínguez-Mora, 2000).

Debido a que en esta zona se concentra gran parte de la actividad agrícola, ganadera y económica de tres delegaciones cuya población vive de la combinación de actividades urbanas y rurales, la problemática del agua ya no sólo se concentra en la creciente dificultad para satisfacer la demanda, también se suma el deterioro ecológico por la necesidad de restablecer los niveles hídricos con sistemas de gran complejidad para desalojar aguas negras pluviales, industriales y domésticas (Jiménez y Marín, 2004).

El constante aporte de nutrimentos de diversas fuentes ajenas a la cuenca ha provocado el aumento de nutrimentos en especial de nitrógeno y fósforo, propiciando el incremento del estado trófico de los mismos (Alcocer *et al.*, 1988), provocando el crecimiento descontrolado del fitoplancton y de la flora nativa e introducida. Esta biomasa genera efectos adversos sobre la dinámica ecológica natural de esta zona, cambiando el estado físico y biológico del canal y por lo tanto la calidad del agua.

Con el fin de controlar este deterioro, se han desarrollado diversas medidas que intentan recuperar el estado trófico original. Cuando la eutrofización es de origen cultural, se requiere que las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento que no disminuya la demanda bioquímica de oxígeno y que reduzca los nutrimentos (Laurent, 1978). A pesar de que la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac se alimenta de 5 plantas de tratamiento de agua, la calidad de las aguas que allí son tratadas sigue siendo pobre ya que

desafortunadamente los problemas sociopolíticos y económicos de la región han impedido que estas plantas tengan un funcionamiento adecuado y que se lleven a cabo procesos de tratamiento secundarios y terciarios integrales.

Esta problemática ha propiciado que los usuarios locales hayan tomado medidas como el dragado periódico de los canales que les permite despejar los canales de la flora flotante como es el caso del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Debido a la naturaleza somera tanto del canal de El Japón (2m) como de la laguna de Tláhuac (3m), con este dragado se retira también una porción del sedimento, esta actividad genera una mezcla importante que afecta a todo el sistema reflejándose en la sucesión de especies fitoplanctónicas cuya presencia o ausencia se relaciona con los periodos de dragado. En el caso particular de *D. baltica* que es una especie cuyo ciclo de vida y dinámica de florecimiento está muy relacionado con los quistes de resistencia presentes en el sedimento, este tipo de medidas seguramente tienen un efecto directo sobre su densidad en la columna de agua y producción de florecimientos.

8.2 Composición de especies del fitoplancton

La composición y variaciones dentro de la comunidad fitoplanctónica de ambientes con las condiciones de eutrofización que presenta la zona lacustre de Xochimilco–Tláhuac son importantes indicadores de la calidad del agua y del estado del ecosistema (Stevenson & Smol, 2003).

Al analizar a las especies de fitoplancton registradas en los conteos de las especies abundantes en los cuatro sitios de estudio, se puede observar que tanto en Xochimilco como el Tláhuac los grupos de Chlorococcales, Clorofitas y Cianobacterias se encuentran bien representados en los 4 sitios. La predominancia de estos grupos es un hecho conocido y relacionado anteriormente con los desequilibrios generados por los aportes excesivos de nitrógeno y fósforo provenientes de actividades agrícolas y ganaderas que han modificado la riqueza y diversidad de especies del fitoplancton (Tavera *et al.*, 2000 y Tavera y Díez, 2009).

A pesar de que tanto en el sitio de Xochimilco como en los sitios de Tláhuac se pudo observar una composición de especies abundantes similar para ambos sitios, se detectaron variaciones en el tiempo muy marcadas en la presencia y densidad de algunas especies en el sitio de Tláhuac que no se observaron el sitio de Xochimilco. Durante la época seca (enero-mayo de 2011) en Tláhuac, se detectó la presencia de un florecimiento de la cianobacteria *Merismopedia elegans*, esta especie era tan abundante que le daba una coloración especial al agua de los sitios de Tláhuac diferenciándolos de los de Xochimilco, en los que

esta especie nunca fue abundante. Durante la transición hacia la época de lluvias (junio-septiembre de 2011) esta especie fue disminuyendo en densidad hasta que prácticamente dejó de ser registrada y dio paso al aumento en la densidad de otras especies debido a que la comunidad fitoplanctónica responde de manera diferente a los cambios que ocurren en el aporte de nutrientes durante la estación seca y la estación de lluvias (Tavera y Díez, 2009).

Esta marcada diferencia en la dinámica de algunos grupos aislados de fitoplancton entre los sitios de estudio refleja que el aporte excesivo y constante de nutrientes se presenta en concentraciones y proporciones diferentes entre las dos zonas debido a que Tláhuac es un sitio con una gran influencia turística y en menor medida agrícola, mientras que el canal de El Japón en Xochimilco es marcadamente ganadero y agrícola. Esta diferencia es la que provoca que en Xochimilco *Durinskia baltica* se encuentre de manera permanente y domine a la comunidad fitoplanctónica la mayor parte del año con una abundancia del 87%, disminuyendo la riqueza de especies y desplazando a otras especies de dinofitas mientras que en Tláhuac se observa una variación del fitoplancton y una sucesión de especies en donde *D. baltica* no está representada de manera significativa.

Por otra parte, en el canal de El Japón las especies de dinofitas registradas de manera eventual corresponden a especies que generalmente forman parte de la composición común de lagunas y reservorios epicontinentales tanto en zonas templadas (Grigorszky *et al.*, 2003; Hansen y Flaim, 2007;) como tropicales (De Souza y Carvalho, 2007; De Souza *et al.*, 2010), sin embargo el hecho de que su presencia fuera muy baja y en ocasiones nula a lo largo del año sugiere que *D. baltica* es la especie dominante de las dinofitas registradas en este sitio a pesar de presentar una disminución de densidad en la época de lluvias, este comportamiento coincide con lo reportado por De Souza y Carvalho (2007) en donde *D. baltica* resultó ser la especie dominante de las dinofitas que se registraron en los puntos de dos localidades diferentes, también un lago y una laguna pero ambos alimentados por la misma laguna en Brasil, en este caso la dominancia total de *D. baltica* se registró en el periodo de aguas bajas y en el periodo de aguas altas disminuyó su densidad siendo dominante junto con *Peridinium gatunense* Nygaard.

8.3 Morfología y características taxonómicas de *Durinskia baltica*

Al realizar la revisión bibliográfica para identificar a *D. baltica* se encontraron diversas irregularidades derivadas de problemas de sinonimia por no respetar estrictamente las reglas nomenclaturales del código internacional de nomenclatura botánica.

En principio se acudió a los estudios más recientes en la zona para comparar las especies de dinofitas ahí reportadas con las características encontradas en este estudio. Tavera y Díez (2009), trabajaron con el fitoplancton de Xochimilco y reportaron en el canal de El Japón la presencia de una población muy abundante de una dinofita que asignaron a *Peridiniopsis oculatum*, por la evidente similitud morfológica y ecológica.

Peridiniopsis oculatum es una especie de aguas epicontinentales, con una forma principalmente esférica, aplanada ligeramente dorso-ventralmente y tecas muy finas, sin ornamentación aparente; además presenta cromatóforos pequeños y un estigma cerca del sulcus; evidentemente las medidas también corresponden con la dinofita estudiada, sin embargo, de acuerdo con Carty & Cox (1986), el género *Peridiniopsis*, que incluye muchas especies inicialmente asignadas a *Glenodinium* y *Peridinium*, está reservado para especies con cero a una placas intercalares (Bourrelly, 1968) y esta dinofita presenta 2, al igual que *P. balticum*, con 2 intercalares anteriores y 6 precingulares (Tabla 10).

Tabla 10. Tabulación del género *Durinskia* en comparación con los géneros *Peridinium*, *Peridiniopsis* y *Glenodinium* y de la especie *Durinskia baltica*

Característica	<i>Durinskia</i>	<i>Peridinium</i>	<i>Peridiniopsis</i>	<i>Glenodinium</i>	<i>Durinskia baltica</i>
Placas apicales	4	4	3	4	4
Placas intercalares	2	3	1	4	2
Placas precingulares	6	7	6	7	6
Placas postcingulares	5	5	5	6	5
Placas antapicales	1 a 2	2	2	2	2
Poros apical	+	-	+	+	+
Placas cingulares	5	5	6	3	5
Placas sulcales	4	4	3	6	4

La definición de *Peridinium* es confusa porque la variación con la que se presentan las placas se traslapa con la de otras especies de géneros morfológicamente cercanos y su delimitación es confusa debido a problemas nomenclaturales por omisión de reglas de los códigos y disparidad de los elementos usados para la definición de las especies. Una buena parte del problema que encontramos al tratar de ubicar la dinofita de Xochimilco es que ambos tipos de confusión van juntos. Otra parte del problema es que los especialistas dejan algunos cabos sueltos en sus propuestas de solución.

Carty & Cox 1986, explicaron algunos eventos relevantes en la delimitación de este género. Levander (1892) describió *Glenodinium cinctum* Ehrenberg (con la misma fórmula tecal que la actual *D. baltica*) pero en 1894 ese mismo autor reconoció que lo descrito no coincidía con *G. cinctum* así que se le renombró como *Glenodinium balticum*.

Lemmermann (1990) renombró a *Glenodinium balticum* como *Peridinium balticum* y posteriormente Schiller (1937) estableció que *P. dybowskii* Woloszyńska era un sinónimo de *P. balticum* de Lemmermann y lo ilustró justamente con los dibujos de Woloszyńska (1916).

Para Carty y Cox (1986), el género *Peridinium* tiene como especie tipo a *Peridinium cinctum*, no a *Glenodinium cinctum*, que morfológicamente son diferentes. Dentro de esta confusión cabe destacar que tanto Popovsky y Pfeister (1990) como Carty y Cox (1986) utilizan el mismo dibujo de Woloszyńska (1916) para referir 2 nombres que corresponden a géneros y especies diferentes: *Peridiniopsis balticum* y *Peridinium dybowskii* (Fig.34).

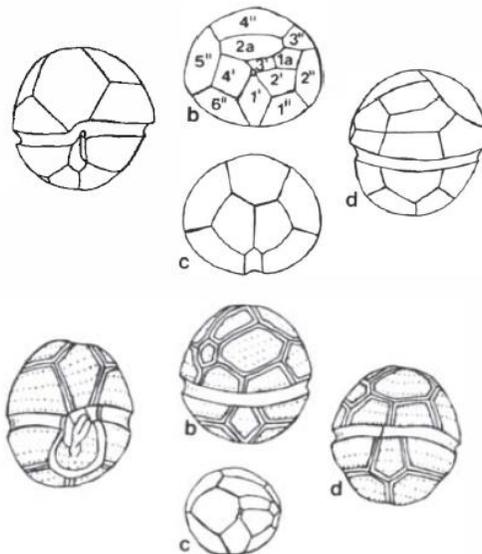


Figura 34. Arriba: *Durinskia baltica* como *Glenodinium cinctum* Ehrenberg. (a) vista ventral, (b) vista apical, (c) vista antapical, (d) vista dorsal (según Levander, 1892). Abajo: *Durinskia baltica* como *Peridinium dybowskii* Woloszyńska (según Woloszyńska, 1916). (a) Vista ventral, (b) vista izquierda dorsal. (c) vista apical, (d) vista dorsal (tomado de Carty y Cox, 1986).

En 1917, Woloszyńska había transferido *Glenodinium cinctum* a *Sphaerodinium*, un género que ella erigió en 1916. Carty & Cox (1986) opinaron que ambos taxones deberían considerarse sinónimos pero conservando el nombre de *Glenodinium cinctum*, que tiene prioridad (Tabla 11). De acuerdo con estas autoras, para resolver toda esta confusión era necesario transferir a esta especie (*Peridinium balticum*) a un nuevo género que incluyera a las especies de agua dulce con la siguiente formula tecal: 4', 2a, 6'', 5c, 4s, 5''', 2''' + un poro apical.

Tabla 11. Basiónimos y Sinónimos de *Durinskia baltica* (Levander) Carty et Cox (1986)

<i>Durinskia baltica</i> (Levander) Carty et Cox 1986	
Basiónimos	Sinónimos
<i>Glenodinium balticum</i> K.M.Levander	<i>Glenodinium balticum</i> K.M.Levander 1894 <i>Peridinium balticum</i> (Levander) Lemmermann 1900 <i>Peridiniopsis balticum</i> (Levander) Bourrelly 1968

El nombre que Carty y Cox (1986) propusieron para este nuevo género es *Durinskia* y opinaron que, aunque está relacionado con *Peridinium* y *Peridiniopsis*, es lo suficientemente diferente (particularmente en las placas intercalares) para garantizar su propia designación genérica (Fig.35).

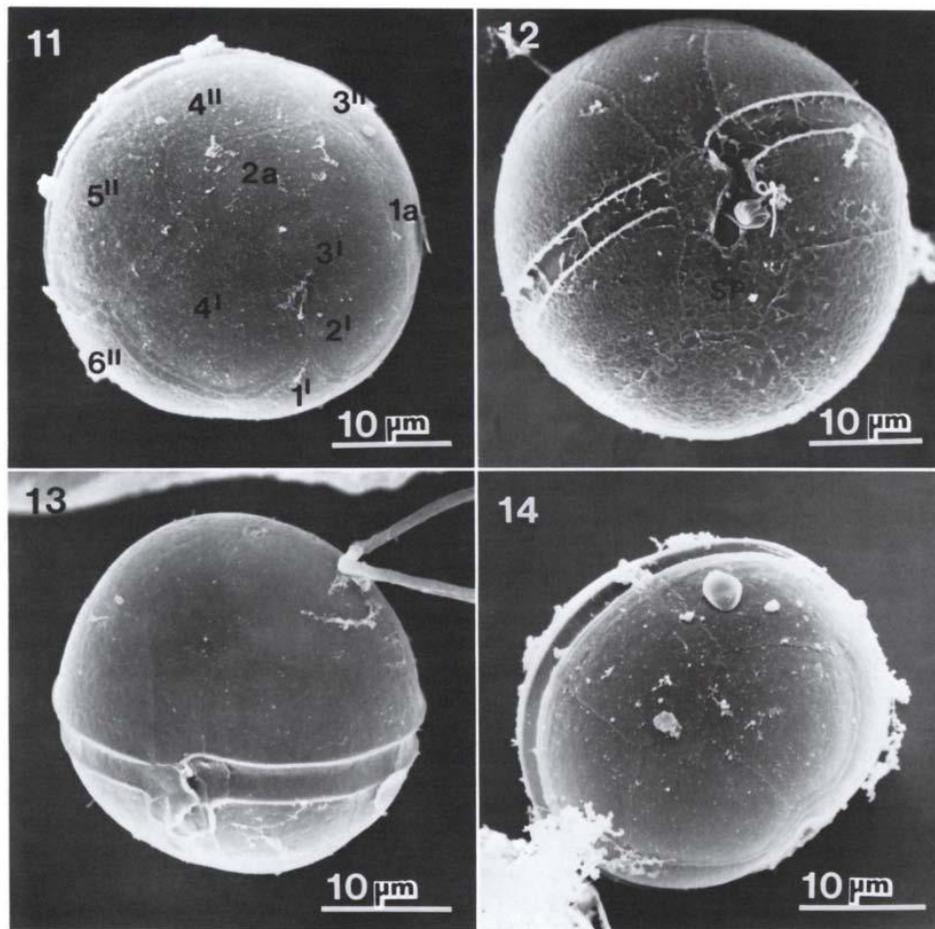


Figura 35. MEB de *Durinskia baltica* tomado de Carty y Cox (1986). 11) Vista apical con las placas numeradas; 12) Vista ventral-apical en la que se ve el poro apical; 13) Vista ventral apical; 14) Vista antapical.

En tanto que la definición taxonómica de la especie dominante en nuestros sitios de estudio también comparte la historia problemática de estos géneros, se presenta una descripción integral de la especie en la

que se documenta con precisión el ciclo de vida (reproducción sexual y asexual) y la variabilidad morfológica (microscopía fotónica), así como una documentación completa de la morfología externa detallada (microscopía electrónica de barrido) y de la morfología interna detallada (microscopía electrónica de transmisión).

8.4 Biología y ecología general de *Durinskia baltica*

De acuerdo con el objetivo general del trabajo, hay varios aspectos que destacan de la biología de *D. baltica*: (1) Forma parte de las pocas especies de dinoflagelados que conservan un núcleo “eucariótico” de origen simbiote y con base en estudios moleculares se ha interpretado que pudo pertenecer a una diatomea central. Esta particularidad ha hecho que sea considerada junto con *Kryptoperidinium foliaceum* (Stein) Lindemann como la especie más común para estudios evolutivos de la transición de los dinoflagelados de organismos fagótrofos a fotosintéticos, es razón por la cual se han realizado estudios clásicos sobre la reproducción de *D. baltica* pero enfocados particularmente a la relación entre los dos núcleos al momento de la reproducción sexual (Tomas y Cox, 1973; Tomas *et al.*, 1973; Chesnick y Cox, 1989). La descripción de su ciclo reproductivo y en particular la parte sexual es muy escasa y pocos trabajos han prestado atención a este aspecto de la biología de *D. baltica* (Chesnick y Cox, 1987).

Chesnick y Cox (1989) hicieron la descripción del proceso de fertilización y formación del cigoto de *D. baltica* como *Perdinium balticum*, analizando las etapas involucradas en la reproducción sexual con imágenes de MET, dicho trabajo es una contribución muy importante al entendimiento de la biología de la especie y los organismos utilizados para tal descripción se obtuvieron de un cultivo de *D. baltica* colectada en un ambiente marino.

(2) La población de *D. baltica* encontrada en Xochimilco presentó algunas diferencias que resaltan al compararla con las características de los ejemplares descritos por Chesnick y Cox (1989). Una de ellas es la morfología de los gametos. Estos autores reportan que los gametos presentan diferencias morfológicas evidentes con respecto a las células vegetativas, teniendo casi la mitad del tamaño de las células vegetativas, una epiteca más cónica y citoplasma claro con pocos cloroplastos. En las células encontradas en Xochimilco no se encontraron células con esas características por lo que surge la incógnita de si realmente las células de *D. baltica* de ambientes marinos corresponden a la misma especie que las formas de ambientes continentales.

Respecto a este punto es importante resaltar que los primeros trabajos realizados con *Durinskia baltica* la reportan como una especie marina (Tomas y Cox, 1973; Tomas *et al.*, 1973; Cox y Rizzo, 1976), mientras

que Carty y Cox (1986), al describir el género *Durinskia* reportan que puede encontrarse tanto ambientes marinos como dulceacuícolas. En trabajos recientes hay confusión en relación a la ecología de esta especie. Algunos autores la describen como habitante de ambientes continentales (Horiguchi, 2004; De Souza *et al.*, 2010), mientras que otros aseguran que es una especie únicamente marina o salobre (Hansen y Flaim, 2007; Pienaar *et al.*, 2007; Hansen, 2011). La diferencia entre las formas marinas y dulceacuícolas radica en ciertos caracteres morfológicos como son: la forma del estigma, el tamaño de las placas antapicales (Pienaar *et al.*, 2007) y diferencias en el tamaño y forma de los (Chesnick y Cox, 1989).

8.5 Evaluación ecológica con base en los modelos de regresión

8.5.1 Análisis de regresión del fitoplancton evaluado como concentración de clorofila-a

8.5.1.1 Canal de El Japón

El límite impuesto para las gráficas de residuales de los modelos de regresión fue de 3 unidades de desviación estándar y los casos que sobrepasaron este límite fueron eliminados, promediando el valor en las especificaciones del análisis. En cada una de las gráficas de dispersión estudentizada se mostraron los límites entre +2 y -2, para aclarar que a pesar de la distribución equitativa, podría haber casos sesgados durante el monitoreo, por ejemplo, en los resultados del canal de El Japón (Fig. 30), los casos 3 y 4 de noviembre y diciembre de 2010 y el caso 5, de enero de 2011. Esto mismo ocurrió con los casos 1 (septiembre de 2010) y 6 (febrero de 2011), cuyo sesgo sobrepasó el límite del modelo inicial (no se muestra en los anexos) y se promediaron antes de elaborar el modelo definitivo.

Dentro de las variables que correlacionan significativamente y que son clave para el fitoplancton, la variación en las concentraciones del nitrógeno inorgánico disuelto (NID), explican mejor la variabilidad de las concentraciones en clorofila. El pH y la temperatura son variables enteramente colineales y como la correlación de Pearson del pH con la clorofila es menor que la de la temperatura, se eliminó el pH y se conservó en cambio la temperatura en el análisis definitivo.

8.5.1.2 Laguna de Tláhuac

El fitoplancton de Tláhuac, no correlacionó con la irradianza subacuática en ninguno de los sitios. En toda la laguna, el pH y la temperatura fueron las variables con mayor importancia para explicar el

comportamiento del fitoplancton, aunque lo afectaron de modo diferente. En el sitio TE, el fitoplancton respondió con mayor sensibilidad (disminuye la concentración de clorofila-a) si la temperatura se eleva y el pH disminuye.

En el sitio TM, el fitoplancton disminuyó de manera más sensible, ante los incrementos de temperatura y en menor medida con incrementos de pH y oxígeno disuelto. En la salida de la laguna (TS), donde recibe la influencia de varios canales, la clorofila-a aumentó ligeramente, ante cambios grandes de temperatura y en pH.

8.6 Ecología de *D. baltica* en la ZLX-T, a través de la construcción de los modelos de regresión lineal multivariados

8.6.1 Análisis de regresión evaluando las densidades de *D. baltica*

Aunque el modelo de regresión es significativo, sólo se explicó un 30 % de la variabilidad en la densidad celular. Fue evidente la alta correlación de la densidad de *D. baltica* con la temperatura del agua y el valor que tuvo el coeficiente de regresión en el modelo, lo que indica que los incrementos en la temperatura promueven los incrementos en las densidades celulares de *D. baltica*. Este resultado de la regresión respalda las tendencias (pendientes) que se muestran en las gráficas de variaciones en la densidad con respecto a las condiciones climáticas (temperatura ambiental y precipitación).

Los resultados de estos análisis reflejan que para *D. baltica* la temperatura es una variable que por sí sola influye directamente en la cantidad de células presentes en la columna de agua, sin embargo al vincularla con las concentraciones de nutrientes particularmente de nitrógeno y fósforo tiene mucho más peso sugiriendo que estas variables en conjunto son las que controlan y condicionan la presencia del florecimiento en el sitio de El Japón. Este comportamiento coincide con los reportes de Grigorszky *et al.*, 2003; Grigorszky, 2006 y De Souza *et al.*, 2010 quienes discuten que la temperatura junto con el fósforo y nitrógeno pueden ser responsables de la formación de florecimientos vinculándolos con los quistes de resistencia.

En el modelo matemático resultante del análisis de regresión se observa que en el canal de El Japón el incremento de la densidad celular de *D. baltica* depende de cuatro variables principales: la disminución en la densidad de quistes, disminución tanto en la concentración de nitrógeno como de fósforo y aumento en la temperatura. Este resultado sería contradictorio al analizar el modelo resultante de la regresión de

quistes como variable dependiente ya que en este modelo la densidad de quistes disminuye cuando las concentraciones de nitrógeno y fósforo aumentan.

Esta contradicción se genera debido a que los resultados de los modelos no detectan el momento preciso en el tiempo en el cual existe una concentración inicial de nutrientes en la columna de agua sin consumir por las células, como el modelo analiza la relación de las células con los nutrientes en función de la densidad celular podría parecer que la densidad de *D. baltica* aumenta cuando disminuyen los nutrientes pero esa disminución se debe al consumo de las células en el momento de máxima densidad.

Cuando se analiza la variabilidad en las densidades de los quistes, el modelo de regresión es estadísticamente significativo y explica casi el 70 % de los cambios de la variable dependiente. Los factores que intervienen son la concentración de NID y de fósforo, pero también la temperatura. Aquí llama la atención que las poblaciones de quistes responden de manera opuesta a las poblaciones vegetativas, porque los quistes disminuyen cuando aumenta la temperatura y en general, cuando aumentan todas estas variables.

Por otra parte, un análisis de correlación parcial indicó que en el canal de El Japón, el número de células vegetativas se modifica en correlación con el número de quistes ($r^2 = -0.533$; valor de $p = 0.007$). Es decir, si hay un número importante de quistes en un momento dado, se reflejará en un número menor de células vegetativas. Se empleó una correlación parcial porque las densidades varían en el tiempo y evidentemente responden a la fecha en la que se hizo cada muestreo, en otras palabras, la fecha se consideró como variable de control para el análisis. Esto indica que el número de organismos en estado vegetativo en la columna de agua, se asocia definitivamente con el número de organismos en estado quístico y esta asociación es estadísticamente significativa ($p = 0.0005$).

Este modelo matemático indica claramente que la densidad de células vegetativas aumenta en función a la disminución de quistes de resistencia, lo que sugiere que los quistes contribuyen a la formación del florecimiento, sin embargo al no tener un registro del número de quistes que se encontraron suspendidos en la columna de agua a pesar de que si fueron observados en suspensión y que las etapas del ciclo sexual se registraron justo en el momento de mayor densidad de células vegetativas el cual fue previo al registro de la mayor abundancia de quistes (Tablas 8 y 9), esto indica que efectivamente los quistes de resistencia son producidos por fusión sexual, no se puede asegurar que una de las funciones ecológicas de los quistes de resistencia en el caso de *D. baltica* sea la formación de florecimientos.

A pesar de que la evidencia para vincular directamente a los quistes con la formación del florecimiento no es suficiente, para el canal de El Japón, es posible sugerirlo al comparar este comportamiento con trabajos

como el de Regenfors (1998) quien describe que en un lago eutrófico en Erken, Suiza la existencia de una estrecha relación entre los quistes encontrados en el sedimento superficial y la dinámica de las células vegetativas en la columna de agua, esta autora discute que la formación de quistes y la germinación son las limitantes de la estacionalidad de las células vegetativas en el lago.

9. Conclusiones

1. Se identificaron 6 especies de dinofitas presentes en la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac las cuales corresponden a *Peridinium aciculiferum* var. *inerme* Woloszynska, *Peridiniopsis* cfr. *berolinense* (Lemmermann) Bourelly, *Glochidinium penardiforme* (Lindeman) Boltovskoy, *Peridiniopsis penardiforme* (Lindemann) Bourelly, *Peridinium lomnickii* var. *splendida* (Woloszynska) Lindemann (Fig.4) y *Durinskia baltica* (Levander) Carty et Cox.
2. La especie dominante del florecimiento presente en el canal de El Japón en el sitio de Xochimilco es *Durinskia baltica*, la etapa dominante del florecimiento es la célula vegetativa móvil, la forma de reproducción dominante es la asexual presentando en menor proporción reproducción sexual conformada por 4 etapas.
3. El papel ecológico de los quistes de resistencia (generados por reproducción sexual) se asocia con la disminución del fósforo, nitrógeno y de la temperatura en la columna de agua, requeridos por la etapa vegetativa (eclosión del quiste).
4. Las condiciones ecológicas y la composición de especies son diferentes entre el canal de El Japón en el sitio de Xochimilco y los tres sitios de la laguna de Tláhuac. Esta diferencia se observó a pesar de que ambos sitios pertenecen a la misma cuenca hidrológica y radica en el uso de suelo agrícola-ganadero de Xochimilco y el uso turístico-doméstico de Tláhuac.
5. *Durinskia baltica* es la especie dominante de la comunidad fitoplanctónica en el sitio de Xochimilco durante todo el año. En los sitios de Tláhuac solo es parte regular del fitoplancton y no es abundante.
6. La temperatura ambiental se relaciona de manera positiva con la densidad de *D. baltica* en los cuatro sitios de estudio. En los meses de mayor precipitación ésta se relaciona de manera negativa con la densidad de *D. baltica*.

7. Las variables físico-químicas que tienen mayor correlación con la presencia del florecimiento en el canal de El Japón son el nitrógeno, el fósforo y la temperatura.

8. Los modelos de regresión lineal correlacionan la densidad de células de *D. baltica* como función de la densidad de quistes de resistencia.

10. Referencias

- Administración pública del distrito federal secretaría de medio ambiente. (2004) Programa de manejo del área natural protegida bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica denominada “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” (PMEXYS). México, 38 p.
- Adachi, R. (1965) Studies on a dinoflagellate *Peridinium polonicum* Woloszyńska. 1. The structure of skeleton. *Journal of Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie.* 6: 318-326.
- Alcocer, J., Kato, E., Robles, E., Vilaclara, G. (1988) Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del laguna viejo de Chapultepec. *Contaminación Ambiental.* 4:43-56.
- Anderson, D.M., Glibert, P.M., Burkholder, J.M. (2002) Harmful Algal Blooms and Eutrophication Nutrient Sources, Composition, and Consequences. *Estuaries.* 25(4b): 704-726.
- Bendschneider, K., Robinson, R. J. (1952) A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research.* 11: 87-96.
- Bibby, B.T., Dodge, J.D. (1972) The encystment of a freshwater dinoflagellate: a light and electron-microscopical study. *British Phycology Journal.* 7:85-100.
- Binder, B.J., Anderson, D.H. (1990) Biochemical composition and metabolic activity of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) resting cysts. *Journal of Phycology.* 26:289–298.
- Blanco, J. (1989) Quistes de dinoflagelados y mareas rojas. En: *Las purgas de mar como fenómeno natural: las mareas rojas, Cuaderno de Área de Ciencias Mariñas.* 4: 85-93, Fraga, F. & Figueiras, E. G. (eds), Edición de Castro, La Coruña.
- Boltovskoy, A. (1999) The genus *Glochidinium* gen. nov., with two species: *G. penardiforme* comb. nov. and *G. platygaster* sp. nov. (Peridiniaceae). *Grana.* 38: 98-107.
- Bravo, I., Fraga, S., Figueroa, R.I., Pazos, Y., Massanet, A., Ramilo, I. (2010) Bloom dynamics and life cycle strategies of two toxic dinoflagellates in a coastal upwelling system (NW Iberian Peninsula). *Deep-Sea Research II.* 57:222–234.

Carty, S., Cox, E. (1986) *Kansodinium* gen. nov. and *Durinskia* gen. nov.: two genera of freshwater dinoflagellates (Pyrrhophyta). *Phycologia*. 25(2): 197-204.

Carty, S. (2003). Dinoflagellates. En: Wehr, J.D. y Sheath, R.G. (eds.) *Freshwater algae of North America*. Ecology and classification. Elsevier Science. U.S.A. 685-714 pp.

Carty, S., Wujek D.E. (2003) A new species of *Peridinium* and new records of dinoflagellates and silica-scaled chrysophytes from Belize. *Caribbean Journal of Science*. 39: 136-139.

Chapman, A.D., Pfister, L.A. (1995) The effects of temperature, irradiance, and nitrogen on the encystment and growth of the freshwater dinoflagellates *Peridinium cinctum* and *P.willei* in culture (Dinophyceae). *Journal of Phycology*. 31:55–359.

Chesnick, J.M., Cox, E.R. (1987) Synchronized sexuality of an algal symbiont and its dinoflagellate host, *Peridinium balticum* (Levander) Lemmermann. *BioSystems*. 21: 69-78.

Chesnick, J.M., Cox, E.R. (1989) Fertilization and zygote development in the Binucleate dinoflagellate *Peridinium balticum* (Pyrrhophyta). *American Journal of Botany*. 76(7): 1060-1072.

Comas, A., Komárek, J. (1984). Taxonomy and nomenclature of several species of *Scenedesmus* (Chlorellales). *Archiv für Hydrobiologie Suppl; Algological Studies*. 35: 135–157.

Comas, A., Novelo, E., Tavera, R. (2007). Coccal green algae (Chlorophyta) in shallow ponds in Veracruz, México. *Archiv für Hydrobiologie Suppl; Algological Studies*. 124: 29–69.

Cox, E.R., Rizzo, P.J. (1976) Observations on cell division in a binucleate dinoflagellate. *Journal of Phycology*. (suppl.) 12, 21.

De Souza-Cardoso, L., Carvalho-Torgan, L. (2007). Dinoflagelados em diversos habitats e hidroperíodos na zona costeira do sul do Brasil. *Acta botánica brasileña*. 21(2): 411-419.

De Souza-Cardoso, L., Braga-Fagundes, P; Becker, V. (2010). Spatial and temporal variations of Dinophyceae in subtropical reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia*. 654:205–214.

Dale, B. (1983) Dinoflagellate resting cysts: 'benthic plankton'. En: Fryxell GA (ed) *Survival strategies of the algae*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 69–136.

Flaim, G., Rott, E., Corradini, F., Toller, G., Borghi, B. (2003) Long-term trends in species composition and diurnal migration of dinoflagellates in Lake Tovel (Trentino, Italy). *Hydrobiologia*. 502: 357–366.

Fritz, L., Triemer, R.E. (1985) A rapid technique utilizing calcofluor white M2R for the visualization of dinoflagellate thecal plates. *Journal of Phycology*. 21:662-664.

Garcés, E., Bravo, I., Vila, M., Figueroa, R.I., Masó, M., Sampedro, N. (2004) Relationship between vegetative cell and cyst production during *Alexandrium minutum* bloom in Arenys de Marharbour (NW Mediterranean). *Journal of Plankton Research*. 26(6):637–645.

Garduño-Solórzano, G., Licea-Durán, S., Oliva- Martínez, M.G., García-Gómez, M.A. (2009) *Dinoflagelados*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de estudios superiores Iztacala. 107 p.

González, G. J., Novelo M. E. (1986) *Técnicas especiales de recolección y preparación de ejemplares de grupos selectos de plantas: algas*. Separata de Manual de herbario. Consejo nacional de la flora de México. A.C., México.

Graham, L.E., Wilcox, L.W. (2000). *Algae*. Prentice Hall. Londres. 640 p.

Grigorszky, I., Nagy, S., Krienitz, L., Kiss, K. T., Mikó, H. M., Tóth, A., Borics, G., Máthé, C., Kiss, B., Borbély, G., Dévai, G., Padisák, J. (2000). Seasonal succession of phytoplankton in a small eutrophic oxbow and some consideration to the PEG model. *Verhandlungen Internationales Verein Limnologie*. 27: 152–156.

Grigorszky, I. G., Borics, J., Padisák, B., Tótmérés, G., Vasas, S., Nagy, G., Borbély (2003). Factors controlling the occurrence of Dinophyta species in Hungary. *Hydrobiologia*. 506–509: 203–207.

Grigorszky, I., Kiss, K.T., Béres, V., Bácsi, I., M-Hamvas, M., Máthé, C., Vasas, G., Padisák, J., Borics, G., Gligora, M., Borbély, G. (2006) The effects of temperature, nitrogen, and phosphorus on the encystment of *Peridinium cinctum*, Stein (Dinophyta). *Hydrobiologia*. 563:527–535.

Hansen, G., Flaim, G. (2007) Dinoflagellates of the Trentino Province, Italy. *Journal of Limnology*. 66(2): 107-141p.

Hansen, P.J. (2011) The Role of Photosynthesis and Food Uptake for the Growth of Marine Mixotrophic Dinoflagellates. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 58(3): 203-214.

Hashimoto, Y., Okaichi, T., Dang, L.D., Noguchi, T. (1968) Glenodinine an ichthyotoxic substance produced by a dinoflagellate, *Peridinium polonicum*. *Bulletin of the The Japanese Society of Fisheries Science*. pp. 528-533.

Hegewald, E. (2000). New combinations in the genus *Desmodesmus* (Chlorophyceae, Scenedesmaceae). *Algological Studies*. 96: 1–18.

Hernández, F.J.P. (2005). *Composición y distribución de especies dominantes de fitoplancton y su relación con características fisicoquímicas*. Informe de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco, México, p.p:1-14.

Horiguchi, T. (2004). *Origin and Evolution of Dinoflagellates with a Diatom Endosymbiont*. Division of Biological Sciences. Hokkaido University, Sapporo, Japan. 8 p.

<http://restosdealgas.blogspot.mx/>. Julio, 2008.

Ichimi, K., Montani, S. (2001) Effects of deposit feeder ingestion on the survival and germination of marine flagellate cysts. *Fisheries Science*. 67:1178–1180.

Imamura, K, Fukuyo, Y. (1987) Method for observation for theca plates of armored dinoflagellates. A guide for studies of red tide organisms. *Japan fisheries resources Conservation Association Suwa*. Tokyo. pp. 54-73.

Islas-Szymanski, B. (1993) *Papel que juega el plancton dentro de un estudio de calidad del agua en aguas superficiales*. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa. Tesis. México, 69 p.

Juárez-Figueroa, A., Silva-Sánchez, J., Uribe-Salas, F.J., Cifuentes-García, E. (2003). Indicadores microbiológicos de la calidad del agua de los canales de Xochimilco de la Ciudad de México. *Salud Pública de México*. 45(3): pp. 2-7.

Jiménez, B., Marín, L. (2004). *El agua en México vista desde la Academia*. Academia Mexicana de Ciencias. México. 36 p.

Jurgens, K. (1953) The red tide of Lake Austin, Texas. *Game and Fish*. 2: 8.

Kim, B.H., Park, M.H., Hwang, S.J., Han, M.S. (2007) Excystment patterns of the freshwater dinoflagellate *Peridinium bipes* (Dinophyceae) in Juam Reservoir, Korea. *Aquatic Microbial Ecology*. 47: 213–221.

Kim, Y.O., Park, M.H., Han, M.S. (2002) Role of cyst germination in the bloom initiation of *Alexandrium tamaraense* (Dinophyceae) in Masan Bay, Korea. *Aquatic Microbial Ecology*. 29:279–286.

Kishimoto, N., Ohnishi, Y., Somiya, I., Ohnishi, M. (2001) Behavior of *Peridinium bipes* (Dinophyceae) resting cysts in the Asahi Reservoir. *Limnology*. 2:101–109.

Kofoed, E.A. (1909) On *Peridiniurn steini* Jorgensen, with a note on the nomenclature of the skeleton of the Peridinidae. *Arch Protistenkd*. 16: 25-47.

Komárek, J., Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. En Ettl, H., Gärtner, G., Heynig H. & D. Mollenhauer (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer, Jena: 19/1.

Komárek, J., Fott, B.(1983). Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. En Huber-Pestalozzi, G. (ed.), *Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Publishers, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1985): *Naviculaceae. Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen*. Bibliotheca Diatomologica 9, 469 p. J. Cramer, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1986): Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning and D. Mollenhauer (eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band. 2/1, 876 p, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1988): Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning and D. Mollenhauer (eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/2, 576 pp, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Krammer, K., Lange-Bertalot, H. (1991a): Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning and D. Mollenhauer (eds.): *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/3, 576 pp, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Kremp, A., Anderson, D.M. (2000) Factors regulating germination of resting cysts of spring bloom dinoflagellate *Scrippsiella hangoei* from the northern Baltic Sea. *Journal of Plankton Research*. 22:1311–1327.

Kremp, A., Shull, D.H., Anderson, D.M. (2003) Effects of deposit feeder gut passage and fecal pellet encapsulation on germination of dinoflagellate resting cysts. *Marine Ecology Progress Series*. 73: 263-65.

Laurent, P. (1978) La eutrofización de los lagunas. En: *La contaminación y las aguas continentales*. Pesson, P. (Ed). Ediciones Mundiprensa. Madrid. pp. 103-113.

Lebour, M.V. (1925) *The Dinoflagellates of Northern seas*. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. 250p.

Lemmermann, E. (1900) Beiträge zur Kenntnis der Planktonalgen. VII Peridinales aquae dulcis et submarinae. *Hedwigia*. 39: 115-121.

Levander, K.M. (1892) Notiz über die Tafelung der Schalenmembran des *Glenodinium cinctum* Ehb. *Zoologische Anzeiger*. 15: 405-408.

Levander, K.M. (1894). Materialien zur Kenntniss der Wasserfauna in der Umgebung von Helsingfors, mit besonderer Berücksichtigung der Meeresfauna I. Protozoa. *Acta Soc. pro Fauna et Flora Fennica*. 12: 1-115.

Llorente-Isidro, M., Cereceda-Oyon, I. (2001). *Dinoflagelados*. Notas de revisión. 12 p.

Matsuoka, K., Fukuyo, Y. (2000) Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. 77 p.

Menzeld, W., Gorwin, N. (1965) The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. *Limnology and Oceanography*. 10: 280-282.

Mills, K. H., Chalanchuk, S. M., Allan, D. J. (1995) *The fish kills in Lake 302S, an experimentally acidified lake*, p. 261. En Wisniewski, J., Grennfelt, P., Rodhe, H., Thornelof, E. [eds.], Acid Reign '95 Goteborg, Sweden. Kluwer.

Nauwerck, A. (1963) Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. *Symbolae Botanicae Upsalienses*. 17: 1-163.

Ngo, H.M., Pfister, L. A. (1990) Freshwater dinoflagellates from North Deming Pond, Minnesota, USA. *Transactions of the American Microscopical Society*. 109(4):380-398.

Nuzzo, L., Montresor, M. (1999) Different excystment patterns in two calcareous cyst producing species of the dinoflagellate genus *Scrippsiella*. *Journal of Plankton Research*. 21:2009–2018.

Ortega, M. M. (1984) *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 566 p.

Park, H.D., Hayashi, H. (1992) Life cycle of *Peridinium bipes f. oculatum* (Dinophyceae) isolated from Lake Kizaki. *Journal of the Faculty of Science*. Shinshu University. 27:87–104.

Park, H.D., Hayashi, H. (1993) Role of encystment and excystment of *Peridinium bipes f. oculatum* (Dinophyceae) in freshwater red tides in Lake Kizaki, Japan. *Journal of Phycology*. 29:435–441.

Pedroza - Pichardo, R. A. (2007). *Productividad Primaria y Diversidad Microbiana Fotolitoautotrófica en los Canales de Xochimilco*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 66 p.

Pfiester, L.A., Anderson, D. M. (1987) *The Biology of Dinoflagellates*. Botanical Monographs, 21. London, Blackwell. U.K., pp. 611-648.

Pfiester, L.A., Lynch, R.A. (1980) Amoeboid stages and sexual reproduction of *Cystodinium bataviense* and its similarity to *Dinococcus* (Dinophyceae). *Phycologia*. 19: 178-183.

Pfiester, L.A., Popovsky, J. (1979) Parasitic amoeboid dinoflagellates. *Nature*. 279: 421-424.

Pienaar, R.N., Sakai, H., Horiguchi, T. (2007) Description of a new dinoflagellate with a diatom endosymbiont, *Durinskia capensis* sp. nov. (Peridinales, Dinophyceae) from South Africa. *Journal of Plant Research*. 120:247–258.

Piot, A., Rochon, A., Stora, G., Desrosiers, G. (2008) Experimental study on the influence of bioturbation performed by *Nephtys caeca* (Fabricius) and *Nereis virens* (Sars) annelidae on the distribution of dinoflagellate cysts in the sediment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 359: 92–101.

Pollinger, U. (1986) Phytoplankton periodicity in a subtropical lake (Lake Kinneret, Israel). *Hydrobiologia*. 138: 127-138.

Pollinger, U. (1987) *Ecology: Freshwater ecosystems*. En Taylor, F. J. R. (ed.), *The Biology of Dinoflagellates*, Blackwell Scientific. Oxford. 502–529 p.

Pollinger, U., Hickel, B. (1991) Dinoflagellate associations in a subtropical lake (Lake Kinneret, Israel). *Archiv fuer Hydrobiologie*. 120:267–285.

Popovsky, J., Pfiester, L. A. (1990). Dinophyceae (Dinoflagellida). En Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Jena, 272 p.

Ramos-Bello, R., Cajuste, J.L., Flores-Roman, D., García-Calderón, E.N. (2001) Metales pesados, sales y sodio en suelos de Chinampa en México. *Agrociencia*. 35: 385-394.

Rengefors, K. (1998) Seasonal succession of dinoflagellates coupled to the benthic cyst dynamics in Lake Erken, Sweden. *Hydrobiologie Special Issues Advanced Limnology*. 51: 123-141.

Rengefors, K., Anderson, D.M. (1998) Environmental and endogenous regulation of cyst germination in two freshwater dinoflagellates. *Journal of Phycology*. 34:568–577.

Rengefors, K., Legrand, C. (2001) Toxicity in *Peridinium aciculiferum* an adaptative strategy to outcompete other winter phytoplankton? *Limnology and Oceanography*. 46:1990–1997.

Rigby, G. R., Taylor, A. H., Hallegraeff, L. M., Mills, P. (1993). *The behaviour of toxic dinoflagellates in shipp's ballast water and progress in research and management to minimise international transfer*. Proceedings of the VI International Conference on Toxic Marine Phytoplankton. Nantes, Francia. 168 p.

Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G. (1990) *The Diatoms - Biology & Morphology of the genera*. Cambridge University Press. Cambridge. 747 p.

Sanderson, B. L., Frost, T. M. (1996). Regulation of dinoflagellate populations: relative importance of grazing, resource limitation, and recruitment from sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53:1409–1417.

Sako, Y., Ishida, Y., Kadota, H., Hata, Y. (1984). Sexual reproduction and cyst formation in the freshwater dinoflagellate *Peridinium cunningtonii*. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*. 50(5):743-750.

Sako, Y., Ishida, Y., Nishijima, T., Hata, Y. (1987) Sexual reproduction and cyst formation in the freshwater dinoflagellate *Peridinium penardii*. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*. 53:473–478.

Schiller, J. (1937). Dinoflagellatae. En: *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz*. Akad. Verlags., Leipzig. 10 Abt. 3, Teil 2, Lieferung. 4: 481-590.

Schwartz, M. C. (1942). Photometric determination of silica in the presence of phosphates. *Industrial & Engineering Chemistry (Anal.)*. 14:893.

Sgrosso, S., Esposito, F., Montesor, M. (2001). Temperature and daylength regulate encystment in calcareous cyst-forming dinoflagellates. *Marine Ecology Progress Series*. 211:77-87.

Smayda, T. J. (1997) Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography*. 42:1137–1153.

Solórzano, L. (1969) Determination of ammonia in natural water by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography*. 14:799-801.

Song, X., Liu, Z., Yang, G., Chen, Y. (2010) Effects of resuspension and eutrophication level on summer phytoplankton dynamics in two hypertrophic areas of Lake Taihu, China. *Aquatic Ecology*. 44:41–54.

Spector, D.L. (1984) Unusual inclusions. In: Spector D.L. (ed) *Dinoflagellates*. Academic Press, Orlando, pp. 365-390.

Starmach, K. (1974) Taxonomic description of *Peridinium lomnickii* í *P. lomnickii* var. *splendid* and *P. wierzejskii*. Freshwater Biological association. *Translation* (New Series). 65: 1-4.

Stevenson, R. J., Smol, J. P. (2003) Use of algae in environmental assessments. En Wehr, J. D., Sheath, R. G. (eds), *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Academic Press, Amsterdam. pp.775–804.

Strickland, J. D. H., Parsons, T. R.. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167 (2ª edición). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. pp.263–266.

Tavera, R., Díez, B. (2009) Multifaceted approach for the analysis of the phototrophic microbial community in a freshwater recreational area of Xochimilco, México. *Hydrobiologia*. 636:353–368.

Tavera, R., Novelo, E., Comas, A. (2000) Chlorococcalean algae (s.l.) from the ecological Park of Xochimilco, Mexico. *Algological Studies*. 100: 65-94.

Toledo, A. (2006) *Agua, hombre y paisaje*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México. pp.19-77.

Tomas, R.N., Cox, E.R. (1973) Observations on the symbiosis of *Peridinium balticum* and its intracellular alga. I. Ultrastructure. *Journal of Phycology*. 9: 304-323.

Tomas, R.N., Cox, E.R., Steidinger, K.A. (1973) *Peridinium balticum* (Levander) Lemmermann an unusual dinoflagellate with a mesocaryotic and a eucaryotic nucleus. *Journal of Phycology*. 9: 91-98.

United States Environmental Protection Agency (USEPA); (2010). http://water.epa.gov/scitech/swguidance/methods/methods_index.cfm. United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2003). Method 445.0 In vitro determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence. National Exposure Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. Available in: <http://www.epa.gov/nerle/www/marinmet.htm>.

Vázquez-Ocampo, J., Domínguez-Mora, E. (2001). *Calidad de agua en el valle de México*. Comisión Nacional del Agua (CNA). México. 15 p.

Whiting, M.C., Brotherson, J.D., Rushforth, S.R. (1978) Environmental interaction in summer algal communities. *Great Basin Naturalist*. 38: 31-41.

Wilcox, L.W., Wedemayer, G.,J. (1984) *Gymnodinium acidotum* Nygaard (Pyrrophyta), a dinoflagellate with an endosymbiotic cryptomonad. *Journal of Phycology*. 20:236-242.

Wolozynska, J. (1916) Połnische stisswasser-Peridineen. *Bulletin of the Academy of Sciences of Cracowie. Serie B*. pp.260-285.

Wolozynska, J. (1917). Neue Peridineen-Arten, nebst Bemerkungen tiber den Bau der Htülle bei Gymnound Glenodinium. *Bulletin of the Academy of Sciences of Cracowie. Serie B*. pp.114-122.

Wu, J.T., Kuo-Huang, L.L., Lee, J. (1998) Algicidal effect of *Peridinium bipes* on *Microcystis aeruginosa*. *Current Microbiology*. 37: 257-261.

Xu, Y., Cai, Q., Wang, L., Kong, L., Li, D. (2010) Diel vertical migration of *Peridiniopsis niei*, Liu et al., a new species of dinoflagellates in an eutrophic bay of Three-Gorge Reservoir, China. *Aquatic Ecology*. 44:387-39.

Zohary, T., Pollinger, U., Hadas, O., Hambright, K. D. (1998) Bloom dynamics and sedimentation of *Peridinium gatunense* in Lake Kinneret. *Limnology and Oceanography*. 43: 175-186.

**Anexo 1. Modelos de regresión para predecir el comportamiento de los factores ambientales
(variables abióticas) sobre la concentración de clorofila-a como variable biológica**

**Anexo 1.1. Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Xochimilco
(canal de El Japón)**

Tabla 1. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del modelo de estadística descriptiva del canal de El Japón.

Estadística descriptiva

	Media	Desv. est.	N
Clorofila	6.873	1.031	23
Nitrato	7.452	3.493	23
Nitrito	8.284	6.431	23
Temperatura	2.923	1.917	23

Tabla 2. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.

Correlaciones

	Clorofila	Nitrato	Nitrito	Temperatura
Correlación de Pearson				
Clorofila	1	-0.528	-0.385	0.711
Nitrato	-0.528	1	0.576	-0.214
Nitrito	-0.385	0.576	1	0.06
Temperatura	0.711	0.214	0.06	1
Sig. (1-cola)				
Clorofila		0.005	0.035	0
Nitrato	0.005		0.002	0.164
Nitrito	0.035	0.002		0.393
Temperatura	0	0.164	0.393	
N				
Clorofila	23	23	23	23
Nitrato	23	23	23	23
Nitrito	23	23	23	23
Temperatura	23	23	23	23

Tabla 3. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error est. del estimado	Durbin-Watson
1	.845 ^a	0.714	0.669	...	2.842

a. Predictores: (Constante), Temperatura, Nitrito, Nitrato

b. Variable Dependiente: clorofila

Tabla 4. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresion	16.718	3	5.573	15.810	.000 ^a
Residual	6.697	19	0.352		
Total	23.415	22			

a. Predictores: (Constante), Temperatura, Nitrito, Nitrato

b. Variable Dependiente: clorofila

Tabla 5. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	-3.053	2.109		-1.447	0.164	-7.468	1.362		
Nitrato	-0.601	.465	-0.204	-1.293	0.212	-1.575	.372	0.607	1.648
Nitrito	-4.958	2.472	-0.309	-2.006	0.059	-10.132	.216	0.634	1.578
tempeartura	3.69	.694	-.686	5.314	0.000	2.236	5.143	0.904	1.106

a. Variable dependiente: clorofila

Tabla 6. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, nitrato, nitrito y temperatura del canal de El Japón.

Estadística residual ^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	-2.195	1.248	0.000	1.000	23
Error std. del valor predicho	0.138	0.530	0.231	0.091	23
Distancia de Cook	0.000	1.988	0.165	0.448	23
Valor de influencia centrado	0.010	0.754	0.130	0.168	23

a. Variable dependiente: clorofila

Anexo 1.2. Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TE)

Tabla 7. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TE.

Estadística descriptiva

	Media	Desv.est.	N
Clorofila	6.540	1.353	18
NID	1.220	5.897	18
Fósforo	9.855	5.690	18
Sílice	2.959	1.329	18
pH	2.299	8.864	18
Temperatura	2.915	1.514	18
OD	1.079	5.016	18
Conductividad	7.135	3.938	18

Tabla 8. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.

Correlaciones

	Clorofila	NID	Fósforo	Sílice	pH	Temperatura	OD	Conductividad
Correlación de Pearson								
Clorofila	1.000	0.134	-0.14	0.182	-0.670	0.804	-0.277	0.320
NID	0.134	1	-0.024	-0.307	-0.233	-0.068	-0.409	0.714
Fósforo	-0.140	-0.024	1	-0.142	0.152	-0.258	0.144	0.017
Sílice	0.182	-0.307	-0.147	1.000	0.247	0.059	-0.092	-0.203
pH	-0.670	-0.233	-0.152	0.247	1.000	-0.747	-0.175	-0.505
Temperatura	0.804	-0.068	-0.258	0.059	-0.747	1.000	0.207	0.144
OD	-0.227	-0.409	0.144	-0.092	-0.175	0.207	1.000	-0.184
Conductividad	0.320	0.714	0.017	-0.203	-0.505	0.144	-0.184	1.000
Sig. (1-cola)								
Clorofila		0.299	0.289	0.235	0.001	0.000	0.183	0.098
NID	0.299		0.463	0.108	0.176	0.394	0.046	0.000
Fósforo	0.286	0.463		0.28	0.274	0.150	0.285	0.473
Sílice	0.235	0.106	0.28		0.162	0.408	0.358	0.210
pH	0.001	0.176	0.274	0.162		0.000	0.244	0.016
Temperatura	0.000	0.394	0.15	0.408	0.000		0.205	0.284
OD	0.183	0.046	0.285	0.358	0.244	0.205		0.233
Conductividad	0.098	0.000	0.473	0.21	0.016	0.284	0.233	
N								
Clorofila	18	18	18	18	18	18	18	18
NID	18	18	18	18	18	18	18	18
Fósforo	18	18	18	18	18	18	18	18
Sílice	18	18	18	18	18	18	18	18
pH	18	18	18	18	18	18	18	18
Temperatura	18	18	18	18	18	18	18	18
OD	18	18	18	18	18	18	18	18
Conductividad	18	18	18	18	18	18	18	18

Tabla 9. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error std. del estimado	Durbin-Watson
1	.937 ^a	0.878	0.792	...	1.782

a. **Predictores:** (Constante), conductividad, Fósforo, OD, Sílice, temperatura, NID, pH

b. **Variable Dependiente:** clorofila

Tabla 10. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	27.327	7	3.904	10.240	.001 ^a
Residual	3.812	10	0.381		
Total	31.14	17			

a. **Predictores: (Constante), conductividad, Fósforo, OD, Sílice, temperatura, NID, pH**

b. **Variable Dependiente: clorofila**

Tabla 11. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	-10.976	14.174		-0.774	0.457	-42.557	20.605		
NID	-0.106	.425	-0.046	-0.248	0.809	-1.053	.842	0.357	2.804
Fósforo	0.409	.283	0.172	1.446	0.179	-0.221	1.039	0.866	1.154
Sílice	1.881	1.339	0.185	1.405	0.190	-1.102	4.865	0.708	1.413
pH	-3.601	3.536	-0.236	-1.018	0.333	-11.48	4.278	0.228	4.381
temperatura	6.577	1.776	0.736	3.703	0.004	2.62	10.535	0.31	3.225
OD	-1.164	.356	-.431	-3.264	0.009	-1.958	-.369	0.701	1.426
conductividad	0.285	.664	0.083	0.43	0.677	-1.194	1.765	0.328	3.051

a. **Variable dependiente: clorofila**

Tabla 12. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, nitrógeno disuelto total (NID), fósforo, sílice, pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del sitio TE.

Estadística residual^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	-2.184	1.301	0.000	1.000	18
Error std. del valor predicho	0.248	0.530	0.405	0.075	18
Distancia de Cook	0.001	0.238	0.071	0.072	18
Valor de influencia centrado	0.106	0.681	0.389	0.155	18

a. **Variable dependiente: clorofila**

Anexo 1.3 Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TM)

Tabla 13. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TM.

Estadística descriptiva

	Media	Desv.est.	N
Clorofila	6.400	1.461	18
pH	2.317	8.447	18
Temperatura	2.951	1.279	18
OD	1.179	5.271	18

Tabla 14. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.

Correlaciones

	Clorofila	pH	Temperatura	OD
Correlación de Pearson				
Clorofila	1.000	-0.508	0.816	-0.500
pH	-0.508	1	-0.744	0.246
Temperatura	0.816	-0.744	1.000	-0.141
OD	-0.500	0.246	-0.141	1.000
Sig. (1-cola)				
Clorofila		0.016	0.000	0.017
pH	0.016		0.000	0.163
Temperatura	0.000	0.000		0.288
OD	0.017	0.163	0.288	
N	18	18	18	18
Clorofila	18	18	18	18
pH	18	18	18	18
Temperatura	18	18	18	18
OD	18	18	18	18

Tabla 15. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error std. del estimado	Durbin-Watson
1	.934 ^a	0.872	0.845	...	1.715

a. **Predictores: (Constante), OD, temperatura, pH**

b. **Variable Dependiente: clorofila**

Tabla 16. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresion	31.69	3	10.563	31.866	.000 ^a
Residual	4.641	14	0.331		
Total	36.331	17			

a. **Predictores: (Constante), OD, temperatura, pH**

b. **Variable Dependiente: clorofila**

Tabla 17. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	-41.151	9.943		-4.139	0.001	-62.477	-19.825		
pH	6.254	2.532	0.361	2.47	0.027	0.823	11.68	0.426	2.347
temperatura	11.682	1.637	1.022	7.135	0.000	8.171	15.194	0.444	2.250
OD	-1.208	.269	-0.444	-4.497	0.001	-1.785	-.632	0.936	1.069

a. **Variable dependiente: clorofila**

Tabla 18. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura del sitio TM.

Estadística residual^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	-2.422	1.449	0.000	0.972	19
Error std. del valor predicho	0.136	0.452	0.254	0.083	19
Distancia de Cook	0.000	0.921	0.119	0.223	19
Valor de influencia centrado	0.000	0.56	0.158	0.143	19

a. Variable dependiente: clorofila

Anexo 1.4 Valores completos del modelo de regresión para el fitoplancton del sitio de Tláhuac (TS)

Tabla 19. Valores de la media y desviación estándar para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del modelo de estadística descriptiva del sitio TS.

Estadística descriptiva

	Media	Desv.est.	N
Clorofila	6.260	2.078	18
pH	2.289	8.730	18
temperatura	2.982	8.448	18

Tabla 20. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.

Correlaciones

	Clorofila	pH	Temperatura
Correlación de Pearson			
Clorofila	1.000	-0.651	0.692
pH	-0.651	1.000	-0.595
Temperatura	0.692	-0.595	1.000
Sig. (1-cola)			
Clorofila		0.002	0.001
pH	0.002		0.005
Temperatura	0.001	0.005	
N	18	18	18
Clorofila	18	18	18
pH	18	18	18
Temperatura	18	18	18

Tabla 21. Valores del resumen del modelo de regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error std. del estimado	Durbin-Watson
1	.753 ^a	0.568	0.51	1.454	1.808

a. **Predictores: (Constante), temperatura, pH**

b. **Variable Dependiente: clorofila**

Tabla 22. Valores del modelo de ANOVA para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresion	41.682	2	20.841	9.849	.002 ^a
Residual	31.741	15	2.116		
Total	73.423	17			

a. **Predictores: (Constante), temperatura, pH**

b. **Variable Dependiente: clorofila**

Tabla 23. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	-8.030	24.173		-0.332	0.744	-59.554	43.494		
pH	-8.846	5.026	-0.372	-1.760	0.099	-19.558	1.866	0.647	1.547
temperatura	11.580	5.194	0.471	2.230	0.041	0.510	22.650	0.647	1.547

a. **Variable dependiente: clorofila**

Tabla 24. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables clorofila-a, pH, y temperatura del sitio TS.

Estadística residual^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	-2.106	1.033	0.000	1.000	18
Error std. del valor predicho	0.362	0.861	0.572	0.164	18
Distancia de Cook	0.001	0.555	0.088	0.142	18
Valor de influencia centrado	0.006	0.295	0.111	0.094	18

a. **Variable dependiente: clorofila**

Anexo 2. Valores completos del modelo de regresión entre la densidad celular y de quistes de resistencia de *D. baltica* y los factores ambientales en el sitio de El Japón

Anexo 2.1 Valores completos del modelo de regresión entre la densidad celular de *D. baltica* y los factores ambientales

Tabla 25. Valores de la media y desviación estándar para las variables nitrato, fósforo y temperatura del modelo de estadística descriptiva de la densidad celular de *D. baltica*.

Estadística descriptiva

	Media	Desv. est.	N
denscel	1.384	6.839	20
Nitrato	7.343	2.515	20
Fósforo	9.039	6.917	20
Temperatura	2.984	1.208	20

Tabla 26. Valores del modelo de correlación de Pearson y significancia para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de *D. baltica*.

Correlaciones

	denscel	Nitrato	Fósforo	temperatura
Correlación de Pearson				
denscel	1.000	-0.265	-0.514	-0.114
Nitrato	-0.265	1.000	0.186	0.030
Fósforo	-0.514	0.186	1.000	-0.110
temperatura	-0.114	0.030	-0.110	1.000
Sig. (1-cola)				
denscel		0.129	0.010	0.316
Nitrato	0.129		0.216	0.449
Fósforo	0.010	0.216		0.323
temperatura	0.316	0.449	0.323	
N				
denscel	20	20	20	20
Nitrato	20	20	20	20
Fósforo	20	20	20	20
temperatura	20	20	20	20

Tabla 27. Valores del resumen del modelo para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de *D. baltica*.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error std. del estimado	Durbin-Watson
1	.566 ^a	0.32	0.192	6.145	1.794

a. **Predictores: (Constante), temperatura, Nitrato, Fósforo**

b. **Variable Dependiente: denscel**

Tabla 28. Valores del modelo de ANOVA para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de *D. baltica*.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresion	2.844	3	0.948	2.510	.096 ^a
Residual	6.044	16	0.378		
Total	8.888	19			

a. **Predictores: (Constante), temperatura, Nitrato, Fósforo**

b. **Variable Dependiente: denscel**

Tabla 29. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de *D. baltica*.

Coeficeintes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta				Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	17.390	3.538			4.917	0.000	9.893	24.886		
Nitrato	-0.454	.571	-0.167		-0.795	0.438	-1.665	.757	0.963	1.039
Fósforo	-0.495	.209	-0.501		-2.369	0.031	-0.938	-.052	0.952	1.050
temperatura	-0.926	1.175	-0.164		-0.788	0.442	-3.418	1.565	0.985	1.015

a. **Variable Dependiente: denscel**

Tabla 30. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables nitrato, fósforo y temperatura de la densidad celular de *D. baltica*.

Estadística residual^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	13.159	1.442	1.384	3.868	20
Error std. del valor predicho	-1.772	1.501	0	1	20
Distancia de Cook	0.000	0.143	0.043	0.045	20
Valor de influencia centrado	0.023	0.421	0.150	0.101	20

a. Variable Dependiente: denscel

Anexo 2.2 Valores completos del modelo de regresión entre la densidad de quistes de resistencia de *D. baltica* y los factores ambientales

Tabla 31. Valores del resumen del modelo para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de *D. baltica*.

Resumen del modelo^b

Modelo	Estadística cambiada					
	R cuadrada cambiada	F cambiada	df1	df2	Sig. de F cambiada	Durbin-Watson
1	0.783	13.007	5	18	0.000	2.293

b. Variable Dependiente: densquistes

Tabla 32. Valores del modelo de ANOVA para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de *D. baltica*.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	df	Media Cuadrática	F	Sig.
1 Regresion	24.931	5	4.986	13.007	.000 ^a
Residual	6.900	18	0.383		
Total	31.831	23			

a. Predictores: (Constante), conductividad, Fósforo, pH, NID, Sílice

b. Variable Dependiente: densquistes

Tabla 33. Valores de los coeficientes no estandarizados de la regresión para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de *D. baltica*.

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% Intervalo de Confianza para B		Estadística de colinealidad	
	B	Error std.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	-4.666	6.044		-0.772	0.450	-17.365	8.032		
NID	2.04	.996	0.238	2.049	0.055	-0.052	4.133	0.889	1.125
Fósforo	0.223	.194	0.128	1.145	0.267	-0.186	.631	0.969	1.032
Sílice	-0.053	.788	-0.009	-0.074	0.942	-1.714	1.597	0.792	1.263
pH	-3.633	1.344	-0.31	-2.703	0.015	-6.458	-.809	0.915	1.093
conductividad	3.548	.627	0.665	5.663	0.000	2.232	4.865	0.875	1.143

a. Variable Dependiente: densquistes

Tabla 34. Valores del modelo de estadística residual de la regresión para las variables NID, fósforo, sílice, pH y conductividad de la densidad de quistes de *D. baltica*.

Estadística residual^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación est.	N
Valor std. Predicho	1.113	1.433	1.241	1.041	24
Error std. del valor predicho	-1.234	1.837	0.000	1.000	24
Distancia de Cook	0.000	0.722	0.08	0.153	24
Valor de influencia centrado	0.066	0.688	0.208	0.158	24

a. Variable Dependiente: densquistes

Anexo 3. Correlación parcial entre la densidad celular de en estado vegetativo y en estado de quiste, en la zona de Xochimilco-Tláhuac

Tabla 35. Valores del modelo de correlación parcial de Pearson y significancia para las variables densidad de quistes y densidad de células de *D. baltica* en la zona de Xochimilco-Tláhuac.

Correlaciones

Variables de control			denscel	densquistes	fecha
ninguna ^a	denscel	Correlación	1.000	0.422	0.454
		Significancia (2-colas)		0.000	0.000
		df	0.000	80	80
densquistes	denscel	Correlación	0.422	1.000	0.341
		Significancia (2-colas)	0.000		0.002
		df	80	0.000	80
fecha	denscel	Correlación	0.454	0.341	1
		Significancia (2-colas)	0.000	0.002	
		df	80	80	0.000
fecha	denscel	Correlación	1.000	0.319	
		Significancia (2-colas)		0.004	
		df	0.000	79	
densquistes	denscel	Correlación	0.319	1	
		Significancia (2-colas)	0.004		
		df	79	0.000	

a. Células que contienen correlaciones de orden-cero (Pearson)

Anexo 4. Modelos de correlación bivariada entre la concentración de clorofila-a como variable biológica y densidad de células de *D. baltica*

Anexo 4.1 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio de Xochimilco (canal de El Japón)

Tabla 36. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio de Xochimilco (canal de El Japón).

Correlaciones

Variables de control		denscel	clorofila
denscel	Correlación de Pearson	1.000	0.402*
	Significancia (2-colas)		0.046
	N	25	25
clorofila	Correlación de Pearson	0.402*	1.000
	Significancia (2-colas)	0.046	
	N	25	25

*Las correlaciones son significativas a un nivel de 0.05 (2-colas).

Anexo 4.2 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio de Tláhuac (TE)

Tabla 37. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio Tláhuac (TE).

Correlaciones

Variables de control		denscel	clorofila
denscel	Correlación de Pearson	1.000	0.184
	Significancia (2-colas)		0.451
	N	19	19
clorofila	Correlación de Pearson	0.184	1.000
	Significancia (2-colas)	0.451	
	N	19	19

Anexo 4.3 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio de Tláhuac (TM)

Tabla 38. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio Tláhuac (TM).

Correlaciones

Variables de control		denscel	clorofila
denscel	Correlación de Perason	1.000	0.226
	Significancia (2-colas)		0.351
	N	19	19
clorofila	Correlación de Pearson	0.226	1.000
	Singnificancia (2-colas)	0.351	
	N	19	19

Anexo 4.4 Correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio de Tláhuac (TS)

Tabla 39. Valores del modelo de correlación bivariada entre clorofila-a y densidad celular de *D. baltica* en el sitio Tláhuac (TS).

Correlaciones

Variables de control		denscel	clorofila
denscel	Correlación de Perason	1.000	.477*
	Significancia (2-colas)		0.039
	N	19	19
clorofila	Correlación de Pearson	.477*	1.000
	Singnificancia (2-colas)	0.039	
	N	19	19

Anexo 5. Concentraciones de nutrimentos registradas de septiembre de 2010 a agosto de 2011

Tabla 40. Concentraciones de nutrimentos del sitio del canal El Japón (Xochimilco)

Recolección	NO ₃ (mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NaNO ₂ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	P(mg/L)	PO ₄ (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Si(mg/L)
Sep	6.6	1.5	0.52	0.67	0.64	0.176	0.865	0.577	0.09	0.26	0.2	35.3	16.5
Oct	7.3	1.7	0.23	0.3	0.28	0.135	0.667	0.445	1.73	5.29	3.95	48.3	22.6
Nov	3.9	0.9	0.16	0.2	0.19	0	0	0	1.13	3.45	2.58	49.4	23.1
Dic	4.3	1	0.09	0.11	0.11	0.042	0.206	0.137	1.64	5.06	3.8	51.3	24
Ene	1.3	5.8	0.16	0.2	0.19	0.092	0.452	0.301	0.15	0.46	0.34	50.5	23.6
FebA	6.2	1.4	0.32	0.41	0.39	0.139	0.687	0.458	0.06	0.2	0.15	48.3	22.6
FebB	2.8	0.6	0.08	0.11	0.1	0	0	0	1.08	3.32	2.48	47.6	22.2
MarA	1.8	0.4	0.01	0.02	0.02	0.01	0.048	0.032	0.26	0.8	0.6	44.5	20.8
MarB	0.4	1.6	0	0	0	0.064	0.315	0.21	1.44	4.4	3.29	48.9	22.9
AbrA	2.1	0.5	0.14	0.17	0.16	0.003	0.014	0.009	0.28	0.87	0.66	54.3	25.4
AbrB	3.5	0.8	0.18	0.24	0.22	0.045	0.22	0.147	0.09	0.27	0	53.7	25.1
MayA	2	0.5	0.01	0.01	0.01	0.003	0.015	0.01	0.02	0.06	0.04	54.2	25.3
MayB	1.6	0.4	0	0	0	0.004	0.02	0.013	0.34	1.05	0.79	41.5	19.4
JunA	3.4	0.8	0.21	0.27	0.26	0.006	0.029	0.019	0.02	0.06	0.04	55.5	25.9
JunB	2.1	0.5	0.29	0.37	0.35	0.01	0.048	0.032	1.65	5.05	3.77	47.5	22.2
JulA	2.6	0.6	0.51	0.65	0.62	0.008	0.041	0.027	0.13	0.37	0.28	46.6	21.8
JulB	6.9	1.6	0.24	0.31	0.29	0.168	0.827	0.551	0.88	2.72	2.03	35.3	16.5
AgoA	4.7	1.1	0.29	0.38	0.36	0.099	0.488	0.326	0.09	0.28	0.21	44.9	21
AgoB	3.4	0.8	0.32	0.41	0.39	0.058	0.284	0.189	0.57	1.75	1.31	82.9	38.8

Tabla 41. Concentraciones de nutrimentos del sitio TE (Laguna de Tláhuac)

Recolección	NO ₃ (mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NaNO ₂ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	P(mg/L)	PO ₄ (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Si(mg/L)
Sep	3.1	0.7	0.02	0.03	0.02	0.003	0.014	0.009	0.27	0.82	0.61	40.6	19
Oct	1.9	0.4	0.06	0.07	0.07	0.007	0.036	0.24	1.5	4.59	3.42	35.1	16.4
Nov	3.1	0.7	0.02	0.03	0.02	0.034	0.167	0.111	1.24	3.8	2.84	39.7	18.6
Dic	6	1.3	0.08	0.1	0.09	0.014	0.022	0.004	1.82	5.62	4.2	39.4	18.4
Ene	1.4	6.3	0.06	0.08	0.08	0.001	0.006	0.004	0.19	0.57	0.43	42.9	20.1
FebA	5.6	1.3	0.04	0.05	0.05	0.006	0.031	0.021	0.04	0.14	0.1	41	19.2
FebB	6.8	1.5	0.04	0.05	0.05	0	0	0	0.75	2.3	1.72	40.2	18.8
MarA	7	1.6	0.07	0.09	0.09	0	0	0	0.16	0.51	0.35	31.9	14.9
MarB	1.5	6.6	0.04	0.03	0.04	0.012	0.057	0.038	1.47	4.51	3.37	35.3	16.5
AbrA	6.1	1.4	0.04	0.05	0.05	0.001	0.005	0.003	0.28	0.85	0.64	36.5	17
AbrB	7.4	1.7	0.19	0.24	0.23	0.004	0.017	0.012	0.14	0.42	0.32	34.3	16.1
MayA	4.6	1	0	0	0	0.001	0.007	0.005	0.23	0.69	0.51	52.3	24.4
MayB	5.1	1.2	0	0	0	0.002	0.012	0.008	0.46	1.39	1.05	44.1	20.6
JunA	8.8	2	0.1	0.13	0.12	0.001	0.005	0.004	0.62	1.89	1.41	47.6	22.3
JunB	6.6	1.5	0.02	0.03	0.03	0.002	0.012	0.008	1.18	3.59	2.69	44.4	20.7
JulA	6.6	1.5	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0.07	0.21	0.16	43.9	20.5
JulB	11.9	2.7	0	0	0	0.285	1.406	0.937	0.26	0.82	0.62	33	15.4
AgoA	21.6	4.8	0.1	0.13	0.13	0.424	2.092	1.394	1.53	4.69	3.51	32.2	15
AgoB	22.4	5	0.24	0.31	0.29	0.292	1.442	0.96	0.34	1.06	0.79	37.2	17.4

Tabla 42. Concentraciones de nutrientes del sitio TM (Laguna de Tláhuac)

Recolección	NO ₃ (mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NaNO ₂ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	P(mg/L)	PO ₄ (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Si(mg/L)
Sep	3.1	0.7	0.01	0.01	0.01	0.009	0.047	0.031	0.12	0.36	0.27	43.9	20.5
Oct	2.2	0.5	0.15	0.19	0.18	0.057	0.279	0.186	1.54	4.71	3.51	57.7	27
Nov	2.3	0.5	0.02	0.02	0.02	0.03	0.15	0.1	1.06	3.25	2.43	38.9	18.2
Dic	5.7	1.3	0.1	0.12	0.12	0.006	0.031	0.021	1.7	5.2	3.9	41.5	19.4
Ene	0.8	3.7	0.08	0.1	0.1	0.006	0.028	0.019	0.29	0.89	0.66	38.5	18
FebA	5.5	1.3	0.04	0.05	0.05	0.004	0.02	0.014	0.24	0.75	0.56	39.7	18.6
FebB	5.4	1.2	0.07	0.09	0.09	0	0	0	1.06	3.25	2.43	39.8	18.6
MarA	6.5	1.5	0.05	0.06	0.06	0.004	0.018	0.012	0.01	0.04	0.02	0.324	0.324
MarB	1.3	5.5	0.09	0.07	0.09	0	0	0	1.67	5.13	3.83	38.3	18.1
AbrA	5.6	1.3	0	0	0	0	0	0	0.77	2.37	1.77	37.6	17.6
AbrB	7.3	1.7	0.07	0.09	0.08	0	0	0	0.03	0.09	0.07	33.1	15.5
MayA	4.6	1	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.01	44.9	21
MayB	6	1.4	0.04	0.05	0.04	0.006	0.027	0.018	0.14	0.43	0.33	42.2	19.7
JunA	8.2	1.9	0.05	0.07	0.07	0.015	0.072	0.048	0.05	0.15	0.11	46.1	21.55
JunB	6.2	1.4	0.09	0.09	0.07	0	0	0	0.01	0.02	0.02	48.6	22.7
JulA	6.3	1.4	0.02	0.03	0.03	0.006	0.31	0.02	0.95	2.91	2.18	41.8	19.6
JulB	12.8	2.9	0	0	0	0.285	1.404	0.936	0.85	2.63	1.97	35.5	16.6
AgoA	25.4	5.8	0.45	0.58	0.55	0.426	2.096	1.396	0.04	0.13	0.1	33.1	15.5
AgoB	25.6	5.8	0.48	0.62	0.59	0.23	1.138	0.758	0.87	2.69	2	65.4	30.6

Tabla 43. Concentraciones de nutrientes del sitio TS (Laguna de Tláhuac)

Recolección	NO ₃ (mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NaNO ₂ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	P(mg/L)	PO ₄ (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Si(mg/L)
Sep	7.1	1.6	0.3	0.39	0.37	0.023	0.111	0.074	0.23	0.7	0.52	40.8	19.1
Oct	2.6	0.6	0.01	0.02	0.02	0.007	0.034	0.023	1.59	4.86	3.63	41.9	19.6
Nov	1.5	0.3	0	0	0	0.032	0.159	0.106	0.82	2.52	1.88	78.3	36.9
Dic	4.9	1.1	0.02	0.02	0.02	0.004	0.021	0.014	2.06	6.34	4.74	41.3	19.3
Ene	0.8	3.3	0.03	0.04	0.04	0.001	0.007	0.004	0.16	0.48	0.36	41.3	19.3
FebA	5.7	1.3	0.04	0.05	0.05	0.001	0.001	0.001	0.06	0.19	0.14	40.4	18.9
FebB	3.5	0.8	0.02	0.03	0.03	0	0	0	1.54	4.71	3.52	36.4	17
MarA	5.7	1.3	0.04	0.05	0.05	0.001	0.001	0.004	0.08	0.27	0.2	0.347	0.347
MarB	1	4.6	0.06	0.04	0.05	0.007	0.036	0.024	1.74	5.33	3.98	37.3	17.4
AbrA	6.7	1.5	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0.83	2.53	1.9	31.8	14.8
AbrB	7.1	1.6	0	0	0	0	0	0	0.24	0.72	0.55	36.9	17.2
MayA	4.8	1.1	0.02	0.03	0.03	0.001	0.005	0.003	0.01	0.02	0.01	48.3	22.6
MayB	4	0.9	0.12	0.16	0.15	0.086	0.422	0.281	0.73	2.24	1.71	45.9	21.4
JunA	7.4	1.7	0.05	0.07	0.06	0	0	0	1.07	3.28	2.45	43.1	20.1
JunB	5.3	1.2	0	0	0	0.003	0.016	0.011	0.19	0.55	0.41	48.2	22.5
JulA	4.9	1.1	0.06	0.08	0.07	0.01	0.049	0.033	0.01	0.01	0	43.8	20.5
JulB	14.4	3.3	0	0	0	0.176	0.866	0.578	0.54	1.66	1.24	40.7	19
AgoA	28.4	6.4	0.1	0.13	0.13	0.502	2.478	1.652	0.05	0.15	0.11	35.9	16.8
AgoB	29.6	6.8	0.51	0.65	0.61	0.36	1.812	1.208	0.16	0.49	0.36	66.3	31