

## AS ALGAS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN

V. ASENSIO FANDIÑO & M. C. FERNÁNDEZ LAGO

verossaf@hotmail.com, amen/04@hotmail.com

Alumnos 4º Biología, Materia: Biodiversidad de Plantas no Vasculares (2006-2007)

Universidad de Vigo. Profesora: Marisa Castro Cerceda.

**Resumen:** La conciencia social acerca de la protección del medio ambiente está en aumento en las últimas décadas, lo que promueve la búsqueda de líneas científicas para combatir la contaminación y evaluarla. Se expone a continuación una de ellas, el uso de algas como bioindicadores de la calidad del agua contaminada por metales pesados y exceso de materia orgánica.

**Palabras clave:** *algas, contaminación, eutrofización, metales.*

**Resumo:** A conciencia social acerca da protección do medio ambiente estase a ver incrementada nas últimas décadas, o que promove a procura de liñas científicas para combatala contaminación e evaluala. Exponse a continuación unha delas, o emprego das algas como bioindicadores da calidade da auga contaminada por metais pesados e exceso de materia orgánica.

**Palabras clave:** *algas, contaminación, eutrofización, metais.*

## INTRODUCCIÓN

Pola importancia que ten a contaminación actualmente nos ecosistemas acuáticos, o obxectivo deste traballo é procurar e dar a coñecer aquelas especies de algas nas que as características morfolóxicas e biolóxicas servan para o análise da calidade das augas.

A contaminación segundo a RAE consiste en “alterar nocivamente a pureza ou as condicións normais dunha cousa ou un medio por axentes químicos ou físicos”.

Hai diversos tipos de contaminación, segundo a orixe dos contaminantes: por nutrientes, materia orgánica, axentes patóxenos, sustancias radioactivas, tóxicas, cheirentas, acidificantes, salinizadoras, metais pesados, etc. (Ederra, 1994).

A contaminación pode ser medida por diferentes métodos, bióticos ou abióticos. Algúns seres vivos, a diferenza dos mecanismos abióticos (pH-metros, espectrofotómetro de masas, cromatografías, reactivos químicos, etc.), presentan características (Cadro 1) que os fan aptos para ser considerados bioindicadores, e por elo son o tema central do noso traballo.

## METODOLOXÍA

Para obter a información precisa para este traballo recurriuse en primeiro lugar á Biblioteca da Facultade de Ciencias (Universidade de Vigo), co fin de procurar a información básica e os conceptos de botánica e ecoloxía (Izco et al. 1998; Margalef, 1995).

Para procurar información máis concreta usáronse textos sobre contaminación, eutrofización (Barker et al., 1996; Mason, 2001) e algúns específicos sobre contaminación por metais pesados (Clark et al., 1997; Penas, 1992; Ray y Whyte, 1976).

Os buscadores de Internet foron útiles á hora de atopar imaxes, esquemas e definicións.

Tamén se realizaron titorías e consultas coa profesora encargada da materia, que nos facilitou guías para a descrición das algas (Bárbara & Cremades, 1993) e nos recomendou contactar coa prof<sup>a</sup>. Aida García Morales (Botánica, Facultade Bioloxía), que nos aconsellou o uso do texto Botánica Ambiental Aplicada (Ederra, 1994).

A partir de toda a información recollida (datos de autores e palabras clave) recurriuse ao servizo de consulta de revistas especializadas.

<p>Dan respostas de interese para o ecosistema de estudo, relativamente fáciles de observar e/ou medir.</p> <p>Teñen límites estreitos de tolerancia respecto a variables ambientais, é dicir, son estenoicos e non eurioicos.</p> <p>Dan respostas diferentes ante estímulos diferentes.</p> <p>Teñen como única fonte de estudo o que proceda do foco de contaminación.</p> <p>Son sedentarios e teñen unha capacidade de dispersión limitada.</p> <p>Son fáciles de mostrear.</p> <p>Están presentes en cantidades suficientes para non alterar, ou incluso destruír a poboación, no caso de que teñan que facerse muestreos sucesivos.</p> <p>Son sensibles á acumulación de contaminantes.</p> <p>Teñen un tempo de vida o suficientemente longo como para que as respostas poidan manifestarse.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Cadro 1. Características importantes nos organismos potencialmente bioindicadores (Ederra, 1994).

Desta búsqueda resultaron aproveitables unha tese de doutoramento e algúns artigos. Finalmente procedeuse a lectura, selección do material máis relevante e síntese de toda a información recopilada, antes de proceder á redacción do traballo.

## RESULTADOS E DISCUSIÓN

### 1. Contaminación por metais pesados

Os metais pesados son compostos naturais do medio ambiente, a diferencia doutros contaminantes (compostos radioactivos, DDT, PCB) e poden presentarse como ións, compostos e complexos. Algúns metais, en pequenas cantidades, son esenciais para a vida: Fe, Cu, Zn, Co; pero nocivos en concentracións maiores. Outros non son beneficiosos e resultan tóxicos en cantidades moi pequenas: Hg, Pb, Cd, etc.

Os metais son considerados elementos "conservativos", non poden ser degradados polos microorganismos, e non se poden eliminar, de forma efectiva, a moi longo prazo. Hai especies bioacumuladoras (acumulan no seu organismo os metais que non son capaces de excretar) e biomagnificadoras (acumulan metais en grandes cantidades).

Os metais pesados poden chegar aos medios acuáticos de varias formas (procedentes da atmósfera, dos ríos ou das industrias), derivadas principalmente da actividade humana, en adición aos fenómenos naturais (Clark et al., 1997).

No litoral galego atopouse, en sedimentos intermareais centrados nas zonas con aglomeracións urbanas e industriais, un enriquecemento moderado por algúns metais: cobalto, chumbo, níquel, zinc, cobre e cromo (Penas, 1992). Os maiores grados de enri-

quecemento son de cobre, cromo e chumbo, aparecendo o dato de "considerable" ou "moi contaminado" no 20-30% dos casos estudados.

#### Algas bioindicadoras de contaminación por metais pesados

As especies bioindicadoras deben presentar as seguintes características (Ray y Whyte, 1976):

- Ser representativas da localidade, abundantes, fáciles de apañar e de identificar.
- Ter moita tolerancia aos metais pesados e ás altas concentracións deles.

Non é doado facer unha clasificación das algas que poidan ser bioindicadoras dun metal pesado, xa que depende da zona de estudo e do grupo de traballo. En base aos traballos realizados por varios investigadores (Ray y Whyte, 1976; Clark et al., 1997) relacionanse metais pesados con algunhas algas representativas no acúmulo de metais:

Mercurio: A alga vermella *Plumaria elegans*;  
Cobre e zinc: Algas pardas como *Fucus vesiculosus* en calas de centos de ppm e *Ectocarpus confervoides* que medra nos cascos de barcos con pintura de cobre. A diatomea *Phaeodactylum sp.* medra máis en presenza de cobre; Chumbo: *Phaeodactylum sp.* incrementa o seu crecemento con concentracións superiores a 0,8 ppm; Prata: pode ser bioacumulada polo fitoplancton e algunhas algas macroscópicas. Algúns destes exemplos obsérvanse na figura 1.

Noutros casos observáronse algunhas especies con certa tolerancia a metais pesados (Ederra, 1994) como se mostra no cadro 2.

### 2. Contaminación por nutrientes e materia orgánica

A eutrofización pode definirse como o enri-



Fig. 1. De esquerda a dereita *Phaeodactylum tricorutum* (Bohlin) Lewin (ICMAN, 2006), *Plumaria elegans* Schmitz. (Universidade de Hamburgo, 2006) e *Ectocarpus confervoides* Le Jolis (Guiry, 2006)

quecemento de auga por nutrientes inorgánicos, especialmente o nitróxeno e o fósforo, que dan lugar a un incremento na produción primaria (Mason, 2001), aínda que foron múltiples os autores que definiron este termo: Nixon (en Barker y Richardson, 1996); Heip, 1995; Goldberg, 1995; Pelley, 1998; US-EPA, 2001; Cloern (en Aranda, 2004).

En definitiva, a eutrofización (Fig. 2) é o proceso de enriquecemento das augas con nutrientes (ligado a contaminacións orgánicas ou químicas), que poden proceder de fontes ur-

banas, como augas residuais domésticas (o máximo problema son os deterxentes) e desfeitos e drenaxes industriais; ou fontes rurais, como a agricultura con uso de fertilizantes artificiais, manexo do monte, fosas sépticas sen impermeabilizar, etc., que facilitan a entrada dos fertilizantes nos cursos dos ríos e a súa deposición tanto en lagoas ou lagos (augas lénticas), como no mar (augas lóxicas) (Mason, 2001).

Existen varias clasificacións dos ecosistemas mariños e doceacuícolas propostos por diversos autores, como Nixon (en Barker y Richardson, 1996) e Rodhe's (en Barker y Richardson, 1996)

A eutrofización causa unha serie de efectos e problemas sobre as fitocomunidades como o aumento do fitoplancton, cambios na composición do bentos e, en xeral, diminúe a biodiversidade. Diminúe a cantidade de diatomeas, aumenta a de clorófitas e chegan a predominar as cianófitas debido a súa capacidade captadora de nitróxeno (moitas delas tóxicas) (Ederra 1994, Aranda 2004).

Unha destas consecuencias son os afloramentos de algas ("blooms"), eventos de multiplicación e acumulación das microalgas que viven libres nos sistemas acuáticos, o fitoplancton, e que presentan un incremento significativo da biomasa dunha ou dunhas poucas especies, en períodos de horas a días. Estes eventos, asociados á eutrofización e ás mareas vermellas, tamén poden acontecer de maneira natural (Ederra, 1994, de León, 2006).

Eutrofización en ecosistemas mariños

A contaminación en ecosistemas mariños, a través dos aportes nutritivos e de materia orgánica, estimula o crecemento dalgunhas

Algas	Tolerancia a metais pesados
<i>Phormidium</i>	Tolerante a As e sensible a Sb
<i>Oscillatoria, Schizothrix</i>	En augas contaminadas por Zn, sensibles a Cu.
<i>Navicula, Synedra</i>	En augas ricas en metais de curso lento.
<i>Nitzschia palea</i>	Moi tolerante a Cu.
<i>Chlorella, Scenedesmas</i>	Alta resistencia a metais.
<i>Euglena, Chlamydomonas</i>	Resistentes a Cd.
<i>Cladophora glomerata</i>	Usada como monitor de Zn.
<i>Stigeoclonium, Hormidium, Mongeotia, Ulothrix</i>	Resistentes a Zn.
<i>Lemanea</i>	Abunda en ríos enriquecidos en metais.

Cadro 2. Tolerancia de determinadas algas a metais pesados según Ederra (1994)

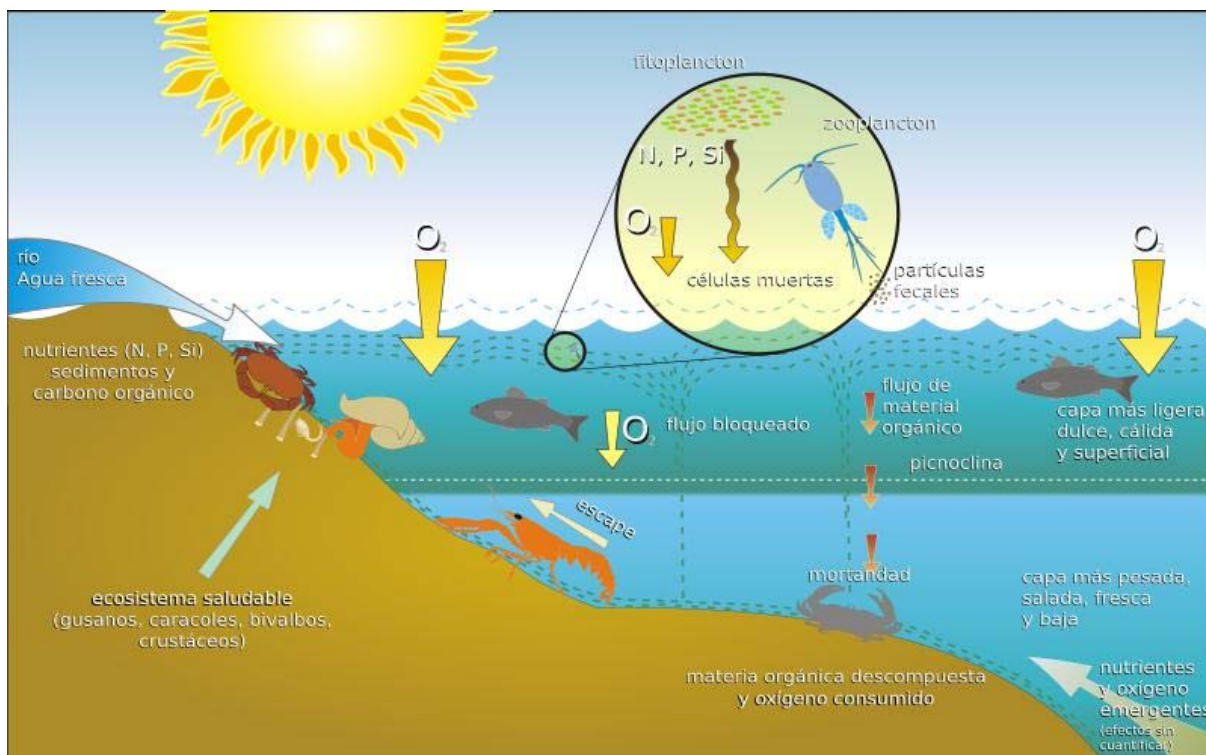


Fig. 2. Proceso de eutrofización (Aranda, 2004).

algas. As primeiras en aparecer son as clorófitas e as cianófitas, despois son substituídas polas feófitas (Ederra, 1994).

Algunhas das cianófitas que se poden atopar en mares eutrofizados son *Lyngbya sp.*, *Oscillatoria sp.* e *Phormidium sp.* (Pinedo et al. 2007). Tamén microalgas como *Enteromorpha crinita*, *Rhizoclonium sp.* e *Ulva rigida*, xa que son resistentes á contaminación, e incluso se ven favorecidas polos aportes de nitróxeno (Bates et al. en Mulgrew y Williams, 2006) e tamén *Enteromorpha intestinalis* (Bárbara et al., 1994) dada a capacidade reproductora e alta taxa de crecemento, polo que poden ser consideradas como bioindicadoras de contaminación mariña (Ederra, 1994).

As algas verdes, presentan en xeral ciclos de vida curtos, unha eficaz reprodución asexual e unha ampla tolerancia ao nitróxeno, polo que a súa bioloxía fainas aptas en ecosistemas contaminados. Outras algas ver-

des que aparecen en mares eutrofizados son *Caulerpa sp.*, *Chaetomorpha sp.*, *Cladophora sp.* e *Codium isthmocladum* (Lapointe et al, 2005).

A maioría das algas verdes acostuman a ser epífitas en zonas contaminadas por aporte de nitróxeno e xofre (Bates et al. en Mulgrew y Williams, 2006). A posible desaparición do hóspede deixará un espazo idóneo para ser colonizado por cianofíceas ou algas verdes (Ederra, 1994; Pinedo et al., 2007). Polo tanto, as algas verdes epífitas (ou parásitas) poden ser consideradas, nestes casos, como bioindicadoras de eutrofización (Brakenhielm en Mulgrew y Williams, 2006).

As algas vermellas son as máis sensibles á contaminación. Son as primeiras en desaparecer e as que se atopan en menor proporción nas zonas contaminadas. Isto débese a que precisan, mais que outras algas, da transparencia na auga para estimular os pigmentos fotosintéticos.

Ademáis, as células sexuais carecen de flaxelos e o ciclo biolóxico é moi complexo, o cal se reflicte nunha maior dificultade á hora de dispersarse e colonizar outros hábitats (Ederra, 1994).

En canto ás algas pardas, non existe un consenso. Algunhas parecen ser sensibles, como *Fucus vesiculosus*, mentras que outras (*Fucus spiralis*) parecen non verse afectadas, ou incluso favorecidas, en zonas contaminadas (López en Ederra, 1994).

#### Eutrofización en ecosistemas doceacuícolas

A contaminación en augas doces é máis complicada de avaliar mediante algas, pois a gran maioría son microscópicas e é necesario ser especialista para identificalas; ademáis, en ecosistemas doceacuícolas danse de forma natural cambios nas poboacións de microalgas ao longo do ano, debido a factores externos á contaminación (Ederra, 1994).

As diatomeas dominan no inverno e primavera e son substituídas no verán por clorofíceas, e por cianofíceas no outono, pero tanto cianofíceas, diatomeas como euglenas chegan a dominar en augas eutróficas e con materia orgánica (Vidal en Ederra, 1994).

Pódense citar algúns exemplos das algas máis comúns en augas lénticas eutróficas:

- Chlorophyta: *Chlorella vulgaris*, *Cladophora sp.*, *Scenedesmus quadricauda*, *Stigeoclonium tenue* (Mason, 2001), *Closterium sp.*, *Mougeotia sp.* (Fontúrbel et al., 2006), *Cladophora sp.*, *Spirogyra sp.* (Cirujano et al., 2000; García et al., 2003).

- Haptophyta: *Chrysochromulina polylepis*, *Phaeocystis sp.* (Barker y Richardson, 1996) *Prymnesium parvum* (Mason, 2001).

- Cyanophyta: *Chamaesiphon sp.* (Mason, 2001), *Anabaena sp.*, *Merismopedia*

*tenuissima*, *Microcystis sp.*, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena galeata*, *Spirulina abbreviata* (Ortega y Rojo, 2000).

- Pyrrophyta: *Glenodinium sp.*, *Peridinium sp.* (Mason, 2001), *Gymnodinium cf. wawrite*, *Katodinium fungiforme*, *Peridinium umbonatum* (Ortega y Rojo, 2000).

- Bacillariophyta: *Asterionella formosa*, *Fragillaria crotonensis*, *Gomphonema parvulum*, *Melosita granulata*, *Nitzschia palea*, *Stephanodiscus astraea*, *Stephanodiscus niagarae* (Mason, 2001).

- Cryptophyta: *Cryptomonas phaseolus* (Ortega y Rojo, 2000).

### CONCLUSIÓNS

1. O uso de algas como indicadores de contaminación é moi interesante fronte a outros tipos de indicadores non biolóxicos, xa que éstas son máis fiables por formar



Fig. 3. De esquerda a dereita *Peridinium umbonatum* Stein (AYMA, 2006), *Cryptomonas sp.* (Miljolare, 2007) e *Spirogyra sp.* (Ruseot, 2006)

- parte dun método de medición directo.
2. O uso de algas tamén presenta algunhas vantaxes fronte á maioría dos bioindicadores de orixe animal, xa que estes últimos son máis difíciles de atopar e recoller.
3. Á hora de facer un estudio de contaminación dunha auga, usando algas como bioindicadores, hai que ter moi en conta a ecoloxía da zona. As condicións ambientais e polo tanto as especies de

algas que alí poden aparecer son propias de cada ecosistema e a mesma sustancia contaminante pode estar indicada por varias especies de algas distintas.

4. As algas poden ser bioindicadoras de case todas as sustancias contaminantes coñecidas, polo que se poden usar en case todas as ocasións que precisen medir a presenza ou índice de contaminación.

### BIBLIOGRAFÍA

- ARANDA, N. 2004. *Eutrofización y calidad del agua en una zona costera tropical*, Universidad de Barcelona (tese doutoral inédita).
- BÁRBARA, I. & CREMADES, J. 1993. *Guía de las algas del litoral gallego*. Casa de las Ciencias, A Coruña.
- BÁRBARA, I., CREMADES, J. & PÉREZ CIRERA, J.L. 1994. Zonación de la vegetación bentónica marina de la Ría de A Coruña, *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 5: 5-23
- BARKER, J. B. & RICHARDSON, K. 1996. *Coastal and estuarine studies. Eutrophication in coastal marine ecosystems*. American Geophysical Union, USA.
- CIRUJANO, S., MEDINA, L., MORENO, M. e& RUBIO, A. 2000. *Aspectos botánicos y limnológicos de la balsa de Zurbano (Vitoria)*. Centro de Estudios Ambientales, Ingurugiro Galetarako Ikastegia, Vitoria-Gasteiz (informe inédito).
- CLARCK, R. B., FRID, C. & ATTRILL, M. 1997. *Marine Pollution*. Clarendon Press Oxford, 4ª ed., Gran Bretaña..
- EDERRA, A. 1994. *Botánica Ambiental Aplicada, las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra*, Ediciones Universidad de Navarra S.A.
- FONTÚRBEL, F., MOLINA, C. & RICHARD, E. 2006. *Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación*, *Ciencia Abierta Internacional* 29: 1-12
- GARCÍA, C., MARTÍNEZ M., MARTÍNEZ, V., SÁNCHEZ, J. M. & ANTIGÜEDAD, I. 2003. *Westland restoration and nitrate reduction: the example of the perturban wetland of Vitoria-Gasteiz (Basque Country, North Spain)*, *Hydrology and Herat System Sciences* 7 (1):109-121.
- IZCO J. et al., 1998, *Botánica*, McGraw-Hill. Interamericana, Madrid.
- LAPOINTE, B. E., BARILE, P. J., LITTLER, M. M., BEDFORD, B. J. & GASQUE, C. 2005. *Macroalgal blooms on sutheast Florida Coral reefs I. Nutrient stoichiometry of the invasive green alga *Codium isthmocladum* in the wider Caribbean indicates nutrient enrichment* *Harmful Algae* 4: 1092-1105.
- MARGALEF, R. 1995. *Ecología*, Omega, Barcelona.
- MASON, C. F. 2001. *Biology of freshwater pollution*. Pearson. Prentice Hall, 4ª ed. China.
- ORTEGA, E. & ROJO, C. 2000. *Fitoplancton del parque nacional Las Tablas de Daimiel II. Las cianofíceas, los dinoflagelados, las criptofíceas y las xantofíceas*. *Anales Jara. Bot. Madrid* 57(2):251-266.
- PENAS, X. M. 1992. *A contaminación mariña do litoral galego*. Ediciós do Castro, A Coruña.
- PINEDO, S., GARCÍA, M., SATTÀ, M. P., TORRES, M. & BALLESTEROS, E. 2007. *Rocky-shore communities as indicators of water quality: A case study in the Northwestern Mediterranean* *Marine Pollution Bulletin* 55: 126-135

RAY, S. & WHITE, W. 1976. *Selected aquatic plants as indicator species for heavy metal pollution*, Journal of Environmental Science and Health, A11(12): 717-725.

AYMA (AGUA Y MEDIO AMBIENTE), <http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/aplicaciones.htm>, [30/12/2006].

DE LEÓN, L., 2006. <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/Floracionesdecianobacterias.pdf> [26/12/2006]

GUIRY M., *Seaweed Site*, <http://seaweed.ucg.ie/descriptions/masste.html>, [30/12/2006].

ICMAN (Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía), [http://www.icman.csic.es/principa.htm?colec/coleMI\\_sp.htm](http://www.icman.csic.es/principa.htm?colec/coleMI_sp.htm), [23/12/2006].

MILJOLARE, <http://www.miljolare.no/aktiviteter/vann/natur/vn19/ferskvannsfytoplankton.php>, [2/1/2007].

MYRDAL, M. 2007. <http://www2.nrm.se/kbo/drypt/cladglom/cladglom2.html.se> [02/01/2007].

MULGREW A. & WILLIAMS P., 2006. *Biomonitoring o fair quality using plants* In [www.umweltbundesamt.de/whocc/AHRIO/content2.htm](http://www.umweltbundesamt.de/whocc/AHRIO/content2.htm) [26/12/2006].

RAE, Real Academia Española, 2006. [www.rae.es](http://www.rae.es), [30/12/2006].

RUSEOT (A REVIEW OF THE UNIVERSE STRUCTURES, EVOLUTIONS, OBSERVATIONS AND THEORIES) <http://universe-review.ca>, [30/12/2006].

RUSEOT (Review of the Universe Structures, Evolutions, Observations and Theories) 2006. <http://universe-review.ca> [30/12/2006].

SEF (Sociedad Española de Ficología). 2006. <http://sefalgas.org> [30/12/2006].

THRONSEN J. 2007. *Marine mikroalger i farger*, Universitetet i Oslo, <http://www.uio.no> [2/1/2007].

TOYOTA M. 2006. *Clorofíceas marinhas bentônicas do estado do Espírito Santo*, [www.ibot.sp.gov.br/teses/181104diogina.htm](http://www.ibot.sp.gov.br/teses/181104diogina.htm) [30/12/2006].

UCA 2006. [www2.uca.es/grup-invest/microbentos/PAGES/album\\_fotos.htm](http://www2.uca.es/grup-invest/microbentos/PAGES/album_fotos.htm) [30/12/2006]

UNIVERSIDADE DE HAMBURGO, Departamento de biología, [www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d44/plumaria.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d44/plumaria.htm) [23/12/2006].