

# La Desaparición del Luchecillo (*Egeria densa*) del Santuario del Río Cruces (Valdivia, Chile): Una Hipótesis Plausible.

DECAY OF *EGERIA Densa* (LUCHECILLO) ON THE NATUR SANCTUARY OF THE CRUCES RIVER (VALDIVIA, CHILE): A PLAUSIBLE HYPOTHESIS

Carlos Ramírez<sup>1</sup>, Eewin Carrasco<sup>2</sup>, Silvana Mariani<sup>3</sup>, Nicolás Palacios<sup>1</sup>

1. Instituto de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

2. Instituto de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

3. Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

## RESUMEN

El Santuario de la Naturaleza “Carlos Anwandter” (Valdivia, Chile) incluye el cauce del río Cruces, varios tributarios de él y zonas aledañas de inundación permanente (bañados). En dicho humedal existía una rica flora acuática y palustre, que albergaba una variada fauna, especialmente aves. En octubre de 2004 se denunció la muerte de algunos Cisnes de cuello negro y la migración de la mayoría de ellos, por escasez de alimento, constituido principalmente por el macrófito sumergido y arraigado al sustrato, *Egeria densa*, que había desaparecido de los baños, pero se conservaba sumergido en los cauces. Los Cisnes de cuello negro sumergían cuerpo y cabeza tironeando las plantas, arrancándolas y ayudando así a su desaparición. La causa de la muerte en los baños y profundización de *Egeria densa* en los cauces, es aún una incógnita, aunque se ha señalado como culpable a una industria de celulosa ubicada a orillas del río Cruces unos 30 km aguas arriba del humedal, que empezó sus actividades productivas en febrero de 2004. Se supone una contaminación con hierro, presente en los sedimentos y liberados por los riles de la industria. Las características de la posible contaminación del humedal no son típicas de una actividad industrial, que tampoco podría haberse presentado en tan corto plazo. La presencia de los mismos síndromes observados en el Santuario del río Cruces, en las lagunas (Grande y Chica) de San Pedro de la Paz en Concepción, 400 km más al Norte, indican una causa más generalizada. La sobrevivencia de plantas sumergidas, indican un factor atmosférico que se atenúa en profundidad. Ante estas y otras evidencias se hipotetiza que la causa de la muerte de *Egeria densa* sería la alta radiación UV-B en la región, aumentada por el paulatino adelgazamiento de la capa de ozono. Esta hipótesis deberá ser comprobada en la próxima primavera, época en que aumenta la radiación.

(Ramírez C, Carrasco E, Mariani S, Palacios N. 2006. La desaparición del luchecillo (*Egeria densa*) del santuario del río Cruces (Valdivia, Chile): Una hipótesis plausible. Cienc Trab, Abr.-Jun.;8(20):79-86)

Descriptores: *EGERIA Densa*, MACROFITOS, CISNE DE CUELLO NEGRO, FLORA ACUÁTICA, FAUNA, BIODIVERSIDAD (DESASTRES), DESEQUILIBRIO ECOLÓGICO, CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL, CONTAMINACIÓN DE RÍOS, HIERRO/ENVENENAMIENTO, IMPACTO AMBIENTAL, CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, RADIACIÓN SOLAR, CAPA DE OZONO, CHILE.

## ABSTRACT

The “Carlos Anwandter” Nature Sanctuary (Valdivia, Chile) includes the riverbed of the Cruces river, several tributary and bordering zones of permanent flood (lagoons). In these wetland existing a rich aquatic and marshy flora, that was harboring a varied fauna, especially fowl. In October of 2004 was denounced the death of some Black Neck Swans and the migration of the rest, by food shortage, constituted mainly by the submerged and rooted macrophyte *Egeria densa*, that had disappeared from the lagoons, but survived submerged in the riverbeds. The Black Neck Swans submerging body and pull out the submerged plants of *Egeria densa* and within helping his decay. The dead cause in the lagoons and deepening in the riverbeds of *Egeria densa*, it is unknown, though it has been indicated as guilty a cellulose industry located in the riverside of Cruces river some 30 km waters up of the wetland, that began its productive activities in February of 2004. It is supposed a pollution with iron, present in the sediments and freed by waste water of the industry. The characteristics of the possible pollution of the wetland are not typical of an industrial activity, that either would be have presented in so short term. The presence of the same syndromes in the lagoons of San Pedro de la Paz in Concepcion, 400 km northern of Valdivia, indicate a most generalized cause. The survivor of submerged plants, indicate an atmospherical factor that is attenuated with depth. According to these and other evidences we hypothesized that the cause of *Egeria densa* decay in the Cruces river wetland would be the high UV-B radiation, increased by the gradual thinnees of the ozone layer. This hypothesis will have to be proven in the next spring, which increases the radiation.

Descriptors: *EGERIA Densa*, MACROPHYTON, CISNE DE CUELLO NEGRO, AQUATIC FLORA, FAUNA, BIODIVERSITY (DISASTERS), ECOLOGICAL DISORDER, INDUSTRIAL POLLUTION, RIVER POLLUTION, IRON/POISONING, ENVIRONMENTAL IMPACT, ENVIRONMENTAL POLLUTION, SOLAR RADIATION, OZONE LAYER, CHILE.

Correspondencia / Correspondence:

Carlos Ramírez G., Dr. rer. nat.

Instituto de Botánica

Universidad Austral de Chile

Campus Isla Teja, Edificio B, Valdivia, Chile

Tel: (63) 221511

e-mail: cramirez@uach.cl

Recibido:13 de febrero de 2006 / Aceptado: 12 de mayo de 2006

## INTRODUCCIÓN

### Un Poco de Historia

El 22 de Mayo de 1960 un gran terremoto asoló el centro-sur de Chile (Watanabe y Karzulovic 1960). En la región de Valdivia se produjeron inundaciones permanentes como consecuencia de un descenso del suelo, de casi 2 m. Varios ríos quedaron rodeados de baños o zonas de inundación permanente (Ramírez et al. 1991).



Figura 1. Banco de Luchecillo en Tralcao en el año 1994.

Tabla 1.

Biomasa, tamaño de su área y biomasa total de macrófitos en el Santuario del río Cruces antes de 2004.

Especie	Biomasa (kg/ha)	Area (ha)	Biomasa total (kg)
<i>Scirpus californicus</i>	24.090	670	16.140.000
<i>Ludwigia peploides</i>	32.330	100	3.233.000
<i>Egeria densa</i>	1.318	2.310	3.013.000
<i>Potamogeton lucens</i>	3.290	100	329.000

En torno al río Cruces los bañados cubrieron enormes superficies que con anterioridad al sismo eran tierras de cultivo y pastoreo. Estos bañados fueron colonizados por una rica flora acuática en la que dominaba por su extensión, *Egeria densa* (Luchecillo) un macrófito dulciacuícola sumergido y arraigado al fango (Cook y Urmi-Koenig 1984, Hauenstein y Ramírez 1986, Ramírez et al. 1982, 1986) (Tabla 1) (Figura 1). Los extensos pantanos así formados, sirvieron de lugar de vida a muchas especies de fauna, especialmente aves. Entre esas aves resaltaba por su belleza y abundancia el Cisne de cuello negro. Por lo anterior, en el año 1981 se creó el Santuario de la Naturaleza "Carlos Anwandter" con una extensión actual de 4.877 ha (Figura 2) La importancia de este humedal permitió su designación de sitio Ramsar (Davis et al. 1996). En este Santuario se desarrolla una importante y variada actividad turística en la época estival.

## PROBLEMÁTICA

### Comienzan los Problemas

En febrero del año 2004 inició sus actividades productivas una industria de Celulosa Arauco y Constitución (CELCO), ubicada a orillas del río Cruces, 30 km aguas arriba del Santuario. A mediados de octubre del mismo año, se denunciaron varios hechos que ponían en peligro la presencia de los Cisnes de cuello negro en el Santuario. Rápidamente el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) con la ayuda de la Gobernación Marítima de Valdivia, organizó una excursión científica al humedal para constatar los hechos denunciados. En esa expedición participaron expertos del SAG, de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y de la Universidad Austral de Chile (UACH), quienes constataron algunos hechos evidentes. Primero que efectivamente había una marcada reducción en el número de individuos de las poblaciones de Cisnes de cuello negro. Segundo, había una reducción del tamaño de las poblaciones de Taguas y Taguitas. Tercero, desaparición del Luchecillo y Cuarto, presencia de aguas

muy turbias, con baja transparencia, aunque sin olores desagradables ni manchas de aceite.

La reducción de las poblaciones de Cisnes de cuello negro se reflejaba en la muerte de algunos y en la masiva migración de otros hacia diferentes humedales (Lagunas de San Pedro, Bahía de Corral, lago Lanalhue, laguna Avendaño y otros). La desaparición del Luchecillo, principal alimento del Cisne, de Taguas y Taguitas (Pimpollos), parecía ser la causa del éxodo y muerte denunciados y también de la turbidez del agua (Schlatter et al. 1991). Pero la desaparición del luchecillo planteaba un enigma interesante y más que nada preocupante, ya que por primera vez en todo el planeta, una maleza agresiva e invasora, desaparecía en forma tan rápida y desde una gran extensión (Matthei 1995). Este fenómeno, era por decir lo menos, prácticamente imposible y por lo tanto, su desaparición, sugería un serio problema ambiental, de una magnitud nunca antes vista, o como se dijera con acierto, una verdadera "tragedia ecológica".

## LA DESAPARICIÓN DEL LUCHECILLO

Sin embargo, la desaparición del Luchecillo no fue total como se creyó en un comienzo. El Luchecillo efectivamente murió y desapareció pero sólo de los bañados someros, no de los cauces más profundos donde curiosamente seguía estando presente, pero sumergido. De manera que el Luchecillo había desaparecido solo de la superficie del agua donde primitivamente formaba una alfombra que imposibilitaba la navegación y la natación (San Martín et al. 2000) (Figura 3). Los cauces aún poblados por el Luchecillo, correspondían al río Cruces en el Santuario, al río Nanihue afluente en su parte media y a los ríos Cau-Cau, Calle-Calle y Valdivia, aguas abajo del Santuario, en la ciudad homónima.

Otro hecho desconcertante era la sobrevivencia y el perfecto estado en que se encontraban las poblaciones de los "Huiros" nativos, aunque de amplia distribución (Ramírez et al. 1979), *Potamogeton lucens* (Huiro verde) y *Potamogeton berterouanus* (Huiro rojo), ya que ante una situación de cambio ambiental ellas deberían ser las primeras en desaparecer y no las malezas (Figura 4). Estos Huiros tienen los mismos hábito y hábitat que el Luchecillo, pero son más escasos, viven en profundidad y sólo algunas ramas salen a la superficie para florecer en la época estival (Haynes y Holm-Nielsen 1998) (Figura 5).



Figura 2. Localización (punteado) y extensión del Santuario de la Naturaleza "Carlos Anwandter" en la cuenca del río Cruces.



Figura 3. Tallos, hojas y flores de *Egeria densa* (Luchecillo).

Otro fenómeno interesante observado fue que en la temporada estival 2004-2005 el Luchecillo sobreviviente en mayor profundidad, no floreció en la región de Valdivia. Con anterioridad su floración se extendía entre Noviembre y Marzo, formando alfombras blancas sobre la superficie del agua. Seguramente, esto fue provocado por el corto pedúnculo que las sostiene y que no podía alcanzar la superficie desde la profundidad en que ahora se encuentra la planta.

En Valdivia el Luchecillo, al igual que en California, Oregon, Nueva Zelanda y otros lugares donde se desarrolla como plaga, sólo presenta flores masculinas por lo que no puede formar semillas (Ramírez et al. 1982). Por ello se reproduce y dispersa en forma vegetativa, utilizando pequeños trozos del tallo, de 10 a 20 cm de tamaño, que arrancaban las mismas aves, los animales o los remos de las embarcaciones. Estos trozos flotaban libremente en la superficie del agua y dispersaban la planta, ya que al llegar a un lugar de aguas quietas, someras y con un sustrato de sedimento, formaban raíces y comenzaban a crecer hasta colonizar todo el lugar (San Martín et al. 1999). Actualmente, es posible observar grandes trozos y plantas enteras de Luchecillo que flotan a la deriva y se varan en las orillas o se enredan en troncos, pero que son ineficientes para reproducir vegetativamente al Luchecillo.

Posteriormente, al revisar el Santuario con mayor detenimiento se pudo comprobar la desaparición simultánea de *Elodea canadensis* (Peste de aguas) y de *Limnobium laevigatum* (Hierba guatona). Estas dos especies pertenecen a la familia Hydrocharitaceae, la misma del Luchecillo (Cook 1998). La primera es una hierba sumergida con hábito semejante a Luchecillo y la segunda, una planta que flota libremente sobre la superficie del agua, como el conocido "Jacinto de agua" (*Eichhornia crassipes*) de la familia Pontederiaceae (Haynes y Holm-Nielsen 1998). Ambas son malezas alóctonas, conocidas como invasoras agresivas y difíciles de erradicar.

## LO QUE SUCEDIÓ EN EL SANTUARIO

Con todos los antecedentes reunidos se elaboró en forma preliminar una secuencia de los eventos que podrían haber sucedido en el Santuario. Esta secuencia comienza con la muerte del Luchecillo en los bañados de aguas someras por una causa, hasta ese momento desconocida. El Luchecillo desaparece de la superficie del agua de los cauces más profundos, sumergiéndose, posiblemente para escapar del mismo factor que lo mató en los bañados. Los Cisnes buscan ahora su alimento, el Luchecillo, sumergido en aguas más profundas. Para extraerlo deben



Figura 4. Potamogeton lucens, Huiro verde (al centro y abajo) rodeado por Luchecillo. Atrás *Nymphaea alba* (Loto). Muelle de Punucapa, 2002.

Figura 5. Estado del Luchecillo (izquierda) y del Huiro verde (derecha) en Punucapa en Noviembre de 2004.

sumergir la cabeza, el cuello y la mitad del cuerpo "parando la cola". En esta posición agarran los Luchecillos sumergidos y los tiran hacia arriba, sin quebrarlos. De esta forma se desprenden grandes trozos y plantas enteras, que varan en las riberas, sin que el Cisne pueda aprovecharlas. Así se han reducido también las poblaciones de Luchecillo que sobrevivían sumergidas.

Al morir el Luchecillo en los bañados someros y descomponerse sus ramas y hojas, se formó abundante materia orgánica y además, se liberó el sedimento atrapado por él, el cual junto con la necromasa de la degradación del Luchecillo, formaron una "mancha" de color rojizo que saliendo desde los bañados, pasó a los cauces y avanzó hacia la ciudad de Valdivia, con posterioridad. El color rojizo estaba dado por la presencia de hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), un precipitado coloidal de estructura gelatinosa. Este hidróxido (sólido), que es la única forma termodinámicamente estable que puede asumir el  $\text{Fe}(\text{III})$  bajo las condiciones de concentración, temperatura, pH y potencial Redox imperantes en las aguas del estuario (Meyer-Gerhards 1996, Jaramillo 2005), seguramente fue liberado desde los sedimentos gracias a su quelación con la materia orgánica proveniente de la muerte del Luchecillo.

Por la turbidez del agua, la abundancia de materia orgánica disuelta y la mayor disponibilidad de nutrientes comienza a producirse una secuencia de fenómenos en serie, que iban cambiando la calidad de las aguas del Santuario y con ello, provocando el florecimiento de microalgas del bentos y del plancton, lo que afecta a los Luchecillos sobrevivientes (Tanner et al. 1993). Esto produjo una serie de fenómenos, por así decirlo, secundarios, muy bien documentados en los informes elaborados por la UACH a petición de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Estos fenómenos habrían llevado al humedal del río Cruces a un desequilibrio ecológico con consecuencias muy negativas que aún (noviembre de 2005) se mantienen.

Pero, ¿por qué desapareció el Luchecillo de los bañados? y ¿por qué se sumergió en los cauces más profundos?

## BUSCANDO UNA HIPÓTESIS

### Hipótesis Descartadas

Se manejó una gran cantidad de hipótesis que se fueron descartando a medida que se avanzaba en el estudio del Santuario, como se dijo, ya alterado y de los restos del Luchecillo de los bañados y de las plantas sumergidas en los cauces. Se enumeran las más importantes.

Tabla 2.

Composición química de *Egeria densa* en diferentes localidades de los ríos Cruces, Cayumapu, Calle-Calle y Valdivia en noviembre de 2004.

Nº	Lugar	P	K	Ca (%)	Mg	S	B	Fe	Cu (ppm)	Zn	Mn	Al
1	Las Animas	0,30	4,74	1,07	0,29	0,35	95,0	13.200	63,0	126,3	2.690,0	1.985,8
2	Terminal buses	0,35	4,56	0,95	0,28	0,22	61,2	5.705	154,3	91,5	1.742,5	2.086,5
3	San Luis de Alba	0,24	3,66	0,72	0,16	0,40	126,6	24.475	29,1	96,0	3.952,5	5.225,5
4	Antes de Punucapa	0,16	2,21	0,83	0,16	0,40	191,4	49.575	43,5	47,0	1.967,5	2.572,5
5	Punucapa	0,18	2,45	1,01	0,15	0,34	241,3	56.175	52,2	39,5	1.865,0	2.314,5
6	San Ramón	0,18	2,58	0,73	0,13	0,37	219,6	41.975	24,5	34,5	1.932,5	3.896,5
7	Frente a San Ramón	0,16	2,32	0,80	0,12	0,39	230,4	53.475	35,8	34,5	1.515,0	2.091,3
8	Las Palmas	0,17	0,30	1,20	0,19	0,27	249,1	56.200	89,3	60,8	3.335,0	3.874,8

1) Los Luchecillos presentaban un exceso de microalgas epifitas, especialmente Diatomeas, pero éstas eran bentónicas y estaban colonizando los restos del luchecillo.

2) En los restos deteriorados del Luchecillo se constató la presencia de Hongos degradadores, los cuales sólo cumplían un rol de oportunistas, ante la debilidad de la planta.

3) El efecto de una eutrofización del Santuario fue rechazado porque el Luchecillo se ve favorecido por un aumento de nutrientes en el agua (Parra 1989, Jaramillo 2005).

4) Una oligotrofia o falta de nutrientes fue supuesta por la puesta en funcionamiento de una Empresas Depuradoras de Aguas (EDAS), pero fue desechada porque el Luchecillo crecía muy bien en el lago Riñihue, por ejemplo, que es oligotrófico. Mas aún, en la zona afectada, hay fuentes de P y N de origen agrícola, según constata un informe al SAG (CEA, 2005).

5) Anoxia de las aguas por contaminación orgánica. Esto puede ser desechado ya que el Luchecillo no tiene problemas con oxígeno para su respiración porque el mismo lo produce y lo mantiene en su sistema de espacios intercelulares (Rodríguez et al. 1987).

6) Acción de herbicidas. Como efectivamente las malezas se eliminan con herbicidas, la presencia de una de estas sustancias podría ser la causante de la muerte del Luchecillo. Pero la opinión de un experto en el tema, es que no hay en el país suficiente herbicida para eliminar completamente la enorme población de Luchecillo en el humedal del río Cruces.

7) Los Cisnes de cuello negro serían los causantes por sobrepastoreo del Luchecillo. Esta hipótesis fue descartada como causa primera, porque en el pasado hubo poblaciones muy superiores a la actual y no exterminaron la planta. Como causa secundaria que ayudó al proceso es muy plausible, ya que efectivamente los Cisnes eliminaron aquellos Luchecillos que sobrevivieron sumergidos en los cauces. La hipótesis es plausible, pues el año 2001 hubo una fuerte reducción en el número de Cisnes en el

Santuario, después de haberse alcanzado una densidad de población de 14.700 aves, seguido a los pocos meses de una caída hasta 1.700 (Jaramillo 2005).

8) Intoxicación con hierro. En estudios microscópicos se constató la presencia de  $Fe(OH)_3$  coloidal adherido en grandes cantidades sobre el Luchecillo. Esta contaminación entraba a las paredes celulares y rodeando algunas células por el apoplasto, las necrosaba. Sin embargo, estas observaciones sólo se realizaron sobre restos o ejemplares ya muertos del Luchecillo. Por lo anterior, nos inclinamos en este caso, por una contaminación secundaria, producto de la liberación de los sedimentos y de la muerte del Luchecillo en los bañados. Aunque normalmente el contenido de hierro del Luchecillo no supera las 3.000 ppm (Correa et al. 2003), análisis químicos de las plantas deterioradas mostraron altos valores de hierro (Tabla 2) (Pinochet et al. 2005), los que en muestreos posteriores iban disminuyendo. Esto ocurrió en la zona afectada por la pluma de una EDAS, donde pudo producirse clorosis férrica por insolubilización del Fe coprecipitado con el P proveniente de las aguas servidas y del lixiviado desde la cuenca agrícola circundante. Por otra parte hay que considerar que la planta aumenta sus requerimientos de fierro, cuando su metabolismo pasa de C3 a C4 por alta intensidad lumínica (Casati et al. 2002), Fe, que absorbe como Fe(II) gracias a la polarización de su membrana (Lara et al., 2002). En todo caso un enriquecimiento de hierro se presentó también en otros lugares afectados por el fenómeno (lagunas de San Pedro en Concepción, por ejemplo).

## UN CASO AMBIENTAL CONFLICTIVO

El problema más serio en todo este caso ambiental es que la opinión pública y los medios de comunicación ya tenían (y



Figura 6. Banco de Luchecillo con algunos individuos de *Limnium laevigatum*, Hierba guatona (izquierda delante del niño) en la Laguna Grande de San Pedro en Concepción en el año 1986.



Figura 7. El mismo lugar de la foto a la izquierda, pero en el año 2005.

tienen) un culpable: La industria de celulosa de propiedad de CELCO. Por una abundante literatura y por experiencia propia se sabe que efectivamente las industrias de celulosa son agentes contaminantes, aunque también hay que considerar que la tecnología de mitigación se supera día a día y, por lo tanto, en teoría sería posible reducir ese tipo de impacto (Gray y Shadbegian 1998, 2002). Además, como las industrias de celulosa desde que iniciaron sus actividades se sindicaron como altamente contaminantes, ellas han estado sometidas a severos controles estatales y a la crítica de los ambientalistas (Laplante y Rilstone 1996, Shadbegian y Gray 2003). Por lo anterior, se han visto obligadas a mejorar sus procesos para reducir su contaminación.

Estudios recientes realizados con riles provenientes de plantas de pulpa kraft blanqueada, que cuentan con tecnologías modernas, demuestran que no existen efectos deletéreos sobre los organismos acuáticos (Janz et al. 2001, Bussières et al. 1998). Experiencias en Finlandia y Canadá con riles tratados y descargados en lagos, han demostrado efectos de eutrofización del agua y proliferación de algas (Archibald et al. 1997). Con la tecnología actual que permite aumentar las eficiencias de plantas de pulpa kraft blanqueada, el efecto contaminante de sus riles estará en directa relación con el grado de implementación de ellas.

Pero si se ignoran las evidencias presentadas anteriormente y que indican otras causas y se insiste en la culpabilidad de CELCO a lo mejor se está perdiendo la oportunidad de conocer la verdadera causa de la muerte del Luchecillo y no se sabe, si esa misma causa puede afectar en un futuro próximo a otros vegetales, animales e incluso a los humanos. Para los autores de este trabajo, había varios motivos para suponer que la causa, aunque desconocida, podía ser otra. Trataremos de examinar primero la veracidad de la culpabilidad de CELCO en la muerte del Luchecillo.

### ¿ES CELCO CULPABLE DE LA MUERTE DEL LUCHECILLO?

1) La experiencia indica que la contaminación industrial tarda años en hacer sentir sus efectos, pero en el caso del Santuario el efecto se habría producido a los pocos meses de puesta en funcionamiento de la industria. A lo mejor este en este caso se trata de una coincidencia más que una causalidad.

2) La contaminación industrial torna maloliente, aceitosas y sucias las aguas, pero en el caso del Santuario, las aguas sólo se presentaban turbias.

3) Con una contaminación, de cualquier tipo, mueren primero las plantas nativas y, posteriormente, las malezas que son más resistentes. En el Santuario sucedió exactamente lo contrario, las tres únicas plantas que tuvieron problemas o desaparecieron fueron las malezas alóctonas más agresivas, pertenecientes a la misma familia.

4) De acuerdo al segundo informe entregado por la UACH a la CONAMA (Jaramillo et al., 2005) el Luchecillo crecía bien en el río Cruces, entre el Santuario y la Industria CELCO, precisamente en las cercanías del Castillo San Luis de Alba donde la pluma contaminante debería pasar más concentrada, lo que invalida la tesis de contaminación industrial.

5) En el Anexo VI del Informe Final de la UACH a la CONAMA (Jaramillo et al., 2005) y como resultado de un ensayo experimental se expone que la fotosíntesis neta y la producción de biomasa del luchecillo son mayores en aguas que reciben directamente los riles

**Tabla 3.** Cobertura (%) y contenido de Fe (ppm) de *Egeria densa* en las lagunas Grande y Chica de San Pedro de la Paz (Concepción) en enero y mayo de 2005.

Mes:	27-enero-2005		14-mayo-2005	
Laguna	<i>Egeria densa</i>	Hierro	<i>Egeria densa</i>	Hierro
Chica	100%	2.646	30%	14.385
Grande	30%	2.944	5%	10.965

de la industria, en comparación con un control (Jaramillo 2005). El resultado de este experimento se opone a la culpabilidad de la industria.

6) Los mismos fenómenos de muerte, reducción de las poblaciones y profundización del Luchecillo se presentaron en la primera mitad del año 2005 en las lagunas Grande y Chica de San Pedro de la Paz en Llacolén, Concepción, donde no existe industria de celulosa alguna (Tabla 3) (Figuras 6 y 7). Incluso, este fenómeno se está presentando actualmente (octubre de 2005) en el Lago Lanalhue, donde el Luchecillo que era una maleza muy abundante y bastante perjudicial, está desapareciendo aceleradamente. Esto último se comprobó también en la laguna Avendaño en Quillón (VIII Región).

7) En los restos de Luchecillo colectados en las dos lagunas de San Pedro de la Paz en Concepción, se constató primero un aumento y luego una disminución del hierro, similar a lo que se encontró en las plantas de *Egeria densa* del Santuario del río Cruces (Tabla 3).

8) En las riberas de las lagunas de San Pedro de la Paz y del lago Lanalhue se observó la presencia de grandes trozos o de plantas

**Figura 8.** Esquema del aporte de agua caliente (grados de temperatura) y sedimento (punteado) desde los bañados al cauce del río Cruces durante la bajamar.

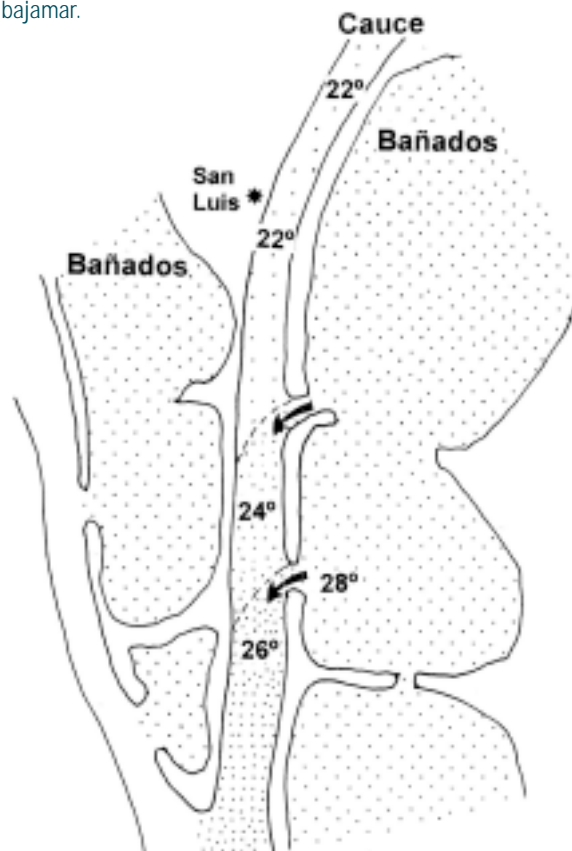
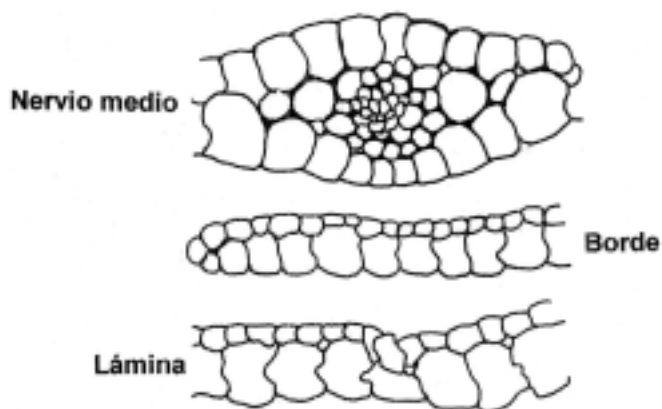


Figura 9.

Esquema del corte transversal de la hoja de *Egeria densa* en el nervio medio, en el borde y en la lámina. Tomado de Rodríguez et al. (1987).



enteras de Luchecillo arrancadas por los Cisnes de cuello negro presentes en esos cuerpos acuáticos. Lo mismo se había encontrado anteriormente en las riberas del Santuario.

Al aceptar las evidencias anteriores, debería descartarse el efecto deletéreo sobre el Luchecillo de los desechos de la industria de celulosa. Pero y entonces ¿Qué fue lo que pasó? Nuevamente, ¿Por qué murió el Luchecillo? Los autores del presente artículo han desarrollado una hipótesis que explica todos los fenómenos constatados en el Santuario. Las evidencias que hacen más plausible esta hipótesis fueron observadas en el mismo Santuario del río Cruces y posteriormente, coincidieron con las encontradas en otros cuerpos acuáticos. Veamos cuales fueron esos fenómenos:

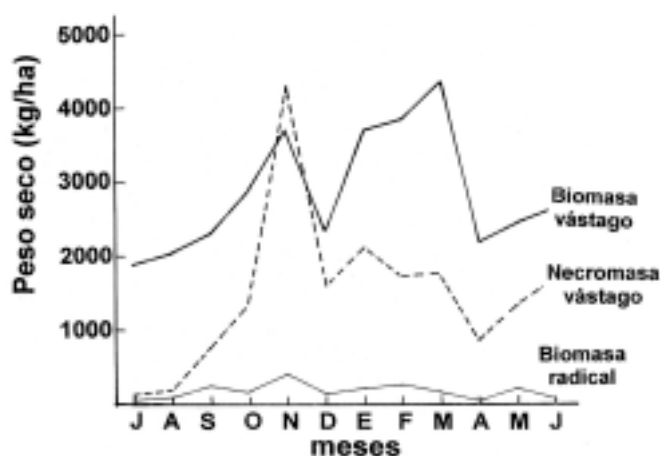
## DESARROLLANDO UNA HIPÓTESIS ALTERNATIVA

### Evidencias para la Hipótesis

- 1) La desaparición del luchecillo de los bañados someros y su persistencia en los cauces, indica que la muerte no fue generalizada a todas las poblaciones y por lo tanto, la causa sería más selectiva, ya que algunas, aquellas que se sumergieron, se habrían salvado.
- 2) En los cauces más profundos de los ríos persistía el Luchecillo, pero sumergido, es decir, más abajo de la superficie que antes era su posición natural. Este hecho habla de un factor atmosférico que no puede penetrar en el agua, o que por lo menos, se atenúa considerablemente con la profundidad. Según Barko y Smart (1981) *Egeria densa* es muy sensible a la luz y a la temperatura, factores que disminuyen con la profundidad. Incluso, la sobrevivencia del Luchecillo en algunos lugares estaba supeditada a un sombreado, por ejemplo, bajo los muelles.
- 3) Un hecho importante fue la aparición de grandes cantidades de antocianos en las células verdes del Luchecillo (en toda la hoja y en la periferia de los tallos), esta sustancia indicadora de cambios en el pH, le da un color rojo a las hojas, especialmente a las del extremo apical de las ramas, curiosamente, las más cercanas a la superficie. Ella constituye una importante defensa antioxidante en las plantas. Este fenómeno que no había sido observado en forma natural con anterioridad, confirma que la causa atmosférica podría ser radiación (o temperatura). Los antocianos se presentan ante un estrés térmico o lumínico (Barko y Smart 1981). Además, como pertenecen

Figura 10.

Producción de biomasa verde, de biomasa muerta (necroma) y biomasa radical de *Egeria densa* de Julio de 1991 a Junio de 1992.



al grupo de los flavonoides, ellos entregan una útil protección contra la radiación UV-B (280 a 320 nm) (Strid et al. 1998), que daña el aparato fotosintético de *Egeria densa* (Casati et al. 2002).

## UNA HIPÓTESIS DIFERENTE Y PLAUSIBLE

Por lo anterior se plantea la hipótesis de que un exceso de radiación solar, posiblemente en el rango de 280 a 320 nm (UV-B), habría producido la muerte del Luchecillo, de la cual sólo escaparon aquellas poblaciones que por la mayor profundidad del agua, pudieron sumergirse, para conseguir protección (Lubin y Holm-Hansen 1995), lo que provocó grandes cambios en la composición del ecosistema (Haeder 1999). Si esta hipótesis se comprueba, éste sería el primer caso concreto de daño directo a plantas por la radiación natural (no experimental) y por supuesto, implicaría una voz de alarma ante un fenómeno que en un futuro próximo podría afectar a otras plantas y a los humanos (Ojeda et al. 2004).

## BASES PARA LA HIPÓTESIS

Lo anterior tiene su base en las características morfológicas y el ciclo de vida del Luchecillo, en las condiciones estuarinas del hábitat ocupado por el Luchecillo y de la misma manera, en el paulatino adelgazamiento periódico de la capa de ozono, protectora de UV-B, especialmente en el hemisferio Sur, donde se inicia, con mayor extensión, en primavera (Lovengreen et al. 2000, Hogues et al. 2005).

El Luchecillo es una planta acuática sumergida de anatomía muy simplificada. Sus tallos y hojas carecen de epidermis y cutícula, estructuras que protegen a las plantas terrestres de la radiación UV-B (Ballaré et al. 2001). Además, sus hojas que son muy delgadas, sólo constan de dos hileras de células verdes fotosintéticas, en contacto directo con el ambiente (Fig. 9). Esto explicaría porque el Luchecillo que vivía en la superficie, y quedaba descubierto durante la baja mar, hoy se halla sumergido, desde 60 cm hacia abajo.

El ciclo anual de crecimiento estacional del Luchecillo muestra una etapa crítica en primavera, cuando la masa muerta (necromasa) supera a la producción de masa viva (biomasa) (Fig. 10). La planta

**Tabla 4.**  
Distribución del índice de radiación UV-B2 en primavera-verano de 2004/2005 en Valdivia, Chile.

Año	Mes	Días con índice UV-B	
		Sobre 6 (Alto)	Bajo 6 (Normal)
2004	Septiembre	19	11
	Octubre	20	11
	Noviembre	27	3
	Diciembre	28	3
2005	Enero	31	0
	Febrero	26	2
	Marzo	21	10
Total	6 meses	172 días	40 días
Porcentaje		81,13%	18,87%

sale de su relativo reposo invernal en el mes de agosto y crece hasta noviembre en forma continua, pero así aumenta también la producción de necromasa, es decir, la muerte de sus órganos (Getsinger y Dillon 1984, Haramotoa y Ikusima 1998). Este hecho se constató en el Santuario en los años 1991 y 1992. Lo anterior sugiere que el Luchecillo se encuentra en condiciones desfavorables y por supuesto más sensible durante los primeros meses de primavera, que sería cuando se presentó el fenómeno.

En aguas interiores someras, de poco movimiento y bajo condiciones más cálidas, como sucede en primavera y verano en el Santuario del río Cruces, el carbono orgánico disuelto puede verse reducido, lo que junto con la degasificación del medio y una disminución de la profundidad, aumentaría la exposición de los organismos a la radiación ultravioleta, lo que podría traer consecuencias letales (Bukata et al. 1995).

En el inicio de la primavera comienza también un aumento de la radiación UV-B que se presenta en forma de pulsaciones, es decir,

variando en cortos períodos, lo que no daría tiempo a la planta para reparar el daño a nivel molecular, de esta manera, el efecto de la radiación se vuelve acumulativo (Pinto y Lizana 2004). Los índices de radiación UV-B calculados últimamente para Valdivia son altos y superan el 80% de frecuencia diaria (Tabla 4). Además, al inicio de la primavera existe una mayor nubosidad parcial que aumenta la radiación difusa, cuyos efectos serían más perniciosos ante la presencia de temperaturas bajas, como efectivamente sucede (Lovengreen et al. 2004). A partir del mes de octubre y cuando las temperaturas aumentan, el efecto se atenúa o desaparece.

## CONCLUSIONES

Todas las evidencias expuestas inclinan la balanza por una mayor plausibilidad de la hipótesis que pone a la radiación natural UV-B o total como responsable de la desaparición del Luchecillo. Esperamos poder confirmar experimentalmente y a corto plazo esta hipótesis. Si ella se confirma, estaríamos ante una situación riesgosa y de gran alcance, ante la cual habría que tomar urgentes medidas protectoras.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a muchos colegas de las Universidades de Concepción, Católica de Temuco, Austral de Chile y también del SAG, que con mucha comprensión nos entregaron sus comentarios y conocimientos en forma desinteresada, lo que nos permitió presentar este escrito.

Se agradece el patrocinio y financiamiento del Centro EULA de la Universidad de Concepción

## REFERENCIAS

- Archibald F, Roy-Arcand L, Methot M. 1997. Time, sunlight, and the fate of biotreated kraft mill organo chlorines (AOX) in nature. *Water Res* 31: 85-94.
- Ballare CL, Rousseaux MC, Searles P, Zaller JG, Giordano CV, Robson TM, Caldwell MM, Sala OE, Scopel AL. 2001. Impacts of solar ultraviolet-B radiation on terrestrial ecosystem of Tierra del Fuego (southern Argentina) - An overview of recent progress. *J Photoch Photobio B* 62: 67-77.
- Barko JW, Smart RM. 1981. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. *Ecol Monogr* 51(2): 219-36.
- Bukata P, Jerome J, Kondratyev K, Pozdnyakov D. 1995. Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters. Ontario: Environment Canada Aquatic Ecosystem Conservation Branch, CRC Press. 362 p.
- Bussièeres D, MM Gagnon, PV, Hodson, JJ Dodson. 1998. Does Interannual Variabilities in Growth and Sexual Maturation of White Sucker (*Catostomus commersoni*) Confound Comparisons Between Pulp mill-contaminated and Reference Rivers? *Can J Fish Aquat Sci* 55:1068-77.
- Casati P, Lara MV, Andreo CS. 2002. Regulation of enzymes involved in C4 photosynthesis and the antioxidant metabolism by UV-B radiation in *Egeria densa*, a submersed aquatic species. *Photosynth Res* 71: 251-64.
- Centro de Ecología Aplicada (CEA). 2005. Evaluación de la condición ambiental del Río Cruces. Informe final al Servicio Agrícola y ganadero (SAG), Stgo. Chile; CEA 26 p. y Anexos.
- Cook CDK. 1998. Hydrocharitaceae. En: Kubitzki K, editor. The families and genera of Vascular Plants. New York: Springer Verlag. p. 234-48.
- . Urmi-Koenig K. 1984. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). *Aquat Bot* 19(1-2): 73-96.
- Correa MR, Velini ED, Arruda DP. 2003. Composicao química e bromatológica de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. *Planta Daninha*. 21: 7-13.
- Davis J, Blasco D, Carbonell M. 1996. Manual de la Convención Ramsar - Una guía a la convención sobre humedales de importancia internacional. Suiza: Gland. P.211.
- Getsinger KD, Dillon CR. 1984. Quiescence, growth and senescence of *Egeria densa* in lake Marion. *Aquat Bot* 20: 329-38.
- Gray W, Shadbegian RJ. 2002. "Optimal" pollution abatement - Whose benefits matter, and how much? Washington DC: National Center for Environmental Economics, Working Paper Series 02-05: 1-41.
- . 1998. Environmental regulation, investment timing, and technology choice. *J Ind Econ*;46(2): 235-56.
- Haeder DP. 1999. Effects of solar UV-B radiation on aquatic ecosystems. *Verh Ges Oekol* 29: 463-71.
- Haramotoa T, Ikusima I. 1988. Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquat Bot* 30 (4): 389-403.
- Hauenstein E, Ramirez C. 1986. The influence of salinity on the distribution of *Egeria densa* in the Valdivia river basin, Chile. *Arch Hydrobiol* 107: 511-20.
- Haynes RR, Les DH, Holm-Nielsen LB. 1998. Potamogetonaceae. En: Kubitzki K, ed. The families and genera of Vascular Plants. New York: Springer Verlag. p. 408-415.
- Hogues VE, Wilkerson F, Dugdale R. 2005. Ultraviolet-B radiation effects on natural phytoplankton assemblages of Central San Francisco Bay. *Estuaries* 28: 190-203.
- Janz D, McMaster M, Weber L, Munkittrick K, Van der Kraak G. 2001. Recovery of ovary size, follicle cell apoptosis, and HSP70 expression in fish exposed to bleached pulp mill effluent. *Canadian J Fish, Aquat Sci* halieut aquat. 58(3): 620-5.
- Jaramillo E, ed. 2005. Origen de mortalidad y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza "Carlos Andwandter" en la provincia de Valdivia. Informe Final a la CONAMA. Valdivia. p. 539.
- Laplante B, Rilstone P. 1996. Environmental inspections and emissions of the pulp and paper industry in Quebec. *J Environ Econ Manag* 31: 19-36.
- Lara MV, Casati P, Andreo CS. 2002. CO2-concentrating mechanisms in *Egeria densa*, a submersed aquatic plant. *Physiol Plantarum* 115: 487-95.
- Lovengreen CH, Fuenzalida H, Villanueva L. 2000. Ultraviolet solar radiation at Valdivia, Chile (39,8o S). *Atmos Environ* 34 (24): 4051-61.
- . Fuenzalida H, Videla L, Valdebenito M. 2004. Dependencia espectral de la atenuación y alzas de radiación UV y visible por la nubosidad estival en Valdivia. *Charlas de Física, Universidad de Tarapacá, Chile* 18: 49-55.
- Lubin D, Holm-Hansen O. 1995. Atmospheric ozone and the biological impact of solar ultraviolet radiation. In: W. A. Nierenberg, ed. *Encyclopedia of Environmental Biology Encyclopedia of Environmental Biology*, San Diego Academic Press. pp 147-68.
- Matthei O. 1995. Manual de las malezas que crecen en Chile. Santiago: Alfabetá Impresores. p. 545.
- Meyer-Gerhards M. 1996. Untersuchungen zur Eisenaufnahme und Eisenreduktion bei der Wasserpest (*Egeria densa* Michx.). Disertación, Fachbereich Biologie, Universitaet Hamburg. p. 62.
- Ojeda F, Guarda I, Lovengreen C, Hidalgo MA, Folch H, Haertels S, Maldonado C. 2004. Ultraviolet exposure of thymocytes: selective inhibition of apoptosis. *Int J Radiat Biol* 80 (6): 445-50.
- Parra O. 1989. La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo (Chile)* 1: 117-36.
- Pinochet D, Ramirez C, Mac Donald R, Riedel L. 2005. Concentraciones de elementos minerales en *Egeria densa* Planch. colectada en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, Valdivia, Chile. *Agro Sur (Chile)* 32: 80-86.
- Pinto M, Lizana C. 2004. Respuestas y mecanismos de protección en las plantas a la radiación ultravioleta-B: Con comentarios sobre su evolución. En: H Marino (ed.) *Fisiología ecológica en plantas - Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. Valparaíso: Universidad Católica de Valparaíso. p. 43-58.
- Ramirez C, Contreras D, San Martín J. 1986. Distribución geográfica y formas de vida en hidrófitos chilenos. *Actas VIII Congreso Nacional de Geografía, Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM)* 1: 103-110.
- . Godoy R, Hauenstein E. 1982. Las especies de "Luchecillos" (Hydrocharitaceae) que prosperan en Chile. *An Mus de Hist Nat Valpsol*. 14: 43-54.
- . Romero M, Riveros M. 1979. Habit, habitat, origin and geographical distribution of Chilean vascular hydrophytes. *Aquat Bot* 7: 241-53.
- . San Martín C, Medina R, Contreras D. 1991. Estudio de la flora hidrófila del Santuario de la Naturaleza "Río Cruces" (Valdivia, Chile). *Gayana Bot*. 48: 67-80.
- Rodríguez R, Dellarossa V, Muñoz M. 1987. *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae) en la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: Anatomía de los órganos vegetativos y aspectos ecológicos. *Bol Soc Biol Concep*. 58: 141-9.
- San Martín C, Contreras D, Ramirez C. 2000. El recurso vegetal del Santuario de la Naturaleza "Carlos Andwandter" (Valdivia, Chile). *Rev Geogr Valpsol*. 31: 225-235.
- . Ramirez C, Ojeda P. 1999. Distribución de macrófitos y patrones de zonación ribereña en la cuenca del río Valdivia, Chile. *Rev Geogr Valpsol*. 30: 117-26.
- Schlatter R, Salazar J, Villa A, Meza J. 1991. Reproductive biology of black-necked Swans *Cygnus melancoryphus* at three Chilean wetland areas and feeding ecology at río Cruces. *Wildfowl Suppl*. 1: 268-71.
- Shadbegian RJ, Gray W. 2003. What determines environmental performance at paper mills? The roles of abatement spending, regulation, and efficiency. *Topics Econ Analysis Policy* 3: 1-8.
- Strid A, Chow WH, Anderson JM. 1994. UV-B damage and protection at the molecular level in plants. *Photosynth Res* 39: 475-89.
- Tanner CC, Clayton JS, Wells RDS. 1993. Effects of suspended solids on the establishment and growth of *Egeria densa*. *Aquat Bot* 45: 299-310.
- Watanabe T, Karzulovic J. 1960. Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile. *Anales Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile*. 17: 23-64.