

CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS MINERALES EN *Egeria densa* Planch. COLECTADA EN EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER, VALDIVIA, CHILE

Dante Pinochet¹., Carlos Ramírez²., Rroberto MacDonald¹., L. Riedel¹

¹Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. ²Instituto de Botánica. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile.

ABSTRACT

Mineral concentrations in *Egeria densa* Planch. growing in the Carlos Anwandter Sanctuary, Valdivia, Chile.

Key words: Iron toxicity, minerals in aquatic plants, environmental constraints, *Cygnus melancoryphus*.

A preliminary study of the accumulation of mineral elements was carried out on the aquatic plant *Egeria densa* Planch., collected from the Carlos Anwandter Sanctuary, as a potential cause of the decrease in plant population observed over the last two years. Plants with and without visible damage were collected from different areas of the Sanctuary. The results showed that iron concentration is abnormally high in all plants and it is particularly high in plants with visible tissue damage. Iron concentrations in damaged plants was on average 40090 mg kg⁻¹ while plants with little or no tissue damage had average values of 13251 mg kg⁻¹, which were 17.1 times higher than the average values reported for plants growing in their native areas. It is concluded that the high concentrations of iron could be the cause of the population decrease of *Egeria densa* observed over the last two years.

RESUMEN

Palabras claves: Toxicidad de hierro, contenido mineral en plantas acuáticas, problemas ambientales, *Cygnus melancoryphus*.

Se realizó un estudio preliminar de la acumulación de elementos minerales en plantas de *Egeria densa* Planch., presentes en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como causa potencial de la disminución de la población de estas plantas acuáticas observadas en los últimos dos años. Se colectaron plantas con escaso o sin daño visible y plantas con evidente daño en sus tejidos. Los resultados mostraron que existe una concentración de Fe anormalmente alta en todas las plantas y particularmente en aquellas con tejidos evidentemente dañados. Las concentraciones de Fe en plantas dañadas fueron en promedio de 40090 mg kg⁻¹, en tanto que las plantas con escaso o sin tejido evidentemente dañado tuvieron valores de 13251 mg kg⁻¹, los cuales fueron hasta 17,1 veces más altos que valores de concentraciones de Fe promedios reportados en las zonas donde la planta es originaria. Se concluye que las altas concentraciones de Fe pueden ser una causa probable de la disminución de la población de plantas de *Egeria densa* observada durante el último año en el Santuario.

INTRODUCCIÓN

En Chile existen escasos estudios de la acumulación de elementos minerales en plantas acuáticas. El Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter del río Cruces (Valdivia, Décima Región) es el humedal más grande de la zona sur de Chile, en el cual desde comienzos del siglo

pasado se encuentra presente la planta alóctona *Egeria densa* (Luchecillo) (Ramírez *et al.*, 1982). Esta especie últimamente ha mostrado una disminución alarmante en sus poblaciones, que eran las de mayor extensión en el Santuario (San Martín *et al.*, 2000). Recientemente, se ha producido una reducción de las poblaciones por migraciones y por un incremento en la muerte

de cisnes de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*, Anatidae), aves emblemáticas del Santuario que se alimentan principalmente de Luchecillo (Schlatter *et al.*, 2002). Aparte de la falta de alimento provocada por la desaparición del Luchecillo, se han barajado diversas hipótesis para explicar esta mortalidad anormal. Los estudios histológicos preliminares efectuados en una muestra de 31 cisnes (CONAMA-UACH, 2004) indican que las aves presentan alta acumulación de hierro en el hígado y en menor grado en los riñones, observándose en esta muestra una alta presencia de parásitos, afirmándose que algunos de los parásitos, pueden provocar enfermedades asociadas. También en ese trabajo se constató que las aves presentaban un severo cuadro de emaciación, indicativo de carencias en la alimentación, lo que estaría relacionado con la desaparición del Luchecillo. Una de las hipótesis planteadas en el informe es que podría haberse acumulado hierro en el tejido de *Egeria densa*, alimento primordial en la dieta de estas aves. Como segunda hipótesis, los autores del informe plantean que en reemplazo del Luchecillo los cisnes podrían estar consumiendo otro tipo de plantas, que podrían presentar una mayor carga de hierro. Si así fuese, el consumo de esas plantas pudiese haber sido una de las causales de muerte de cisnes observadas en este Santuario. Este trabajo reporta un estudio preliminar realizado sobre *Egeria densa* y la concentración de algunos elementos minerales en sus tejidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El 20 de noviembre de 2004 se colectaron en forma separada (Cuadro 1) y desde distintos sectores de los ríos Valdivia y Cruces, ocho muestras de *Egeria densa* y dos muestras controles en el río Cruces de las especies *Juncus bulbosus* (Junquillo rojo) y *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) (Ramírez *et al.*, 1991). Se muestreó un tamaño de muestra mayor a 2 kg de materia fresca de la parte aérea de las plantas. De las muestras de *Egeria densa* tres fueron colectadas en plantas sin síntomas evidentes de tejidos afectados o con muy escaso tejido

afectado (Muestras 1 a 3) y cinco de las muestras de plantas que presentaban distintos grados de deterioro evidente, el cual se reflejó en una coloración café, similar a un “bronceado” en las hojas y tallos (Muestras 4 a 8). Las muestras fueron lavadas varias veces con agua corriente hasta la remoción de cualquier evidencia de material adherido en su superficie y luego fueron lavadas con agua destilada. Posteriormente, previa remoción del exceso de agua fueron puestas en bolsas de papel y secadas a 60 °C en un horno de ventilación forzada hasta alcanzar peso constante y molidas a un tamaño de 1 mm en un molino Wiley. Se tomaron 2 g de material vegetal el cual fue calcinado en una mufla a 500 °C por 4 horas. Las cenizas fueron solubilizadas con HCl 2N y en el extracto filtrado se midió la concentración de fósforo (P) por colorimetría del fosfo-vanadomolibdato, calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y aluminio (Al) por espectrofotometría de absorción atómica (Sadzawka *et al.*, 2004). Adicionalmente, 0.25 g fueron calcinados con adición de nitrato de magnesio y precalentamiento previo, para determinación de azufre (S) por turbidimetría. La concentración de nitrógeno (N) por microkjeldhal se determinó en 0,5 g digeridos con una mezcla de ácido sulfúrico- ácido salicílico y catalizador (Sadzawka *et al.*, 2004). Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1, muestra que la concentración de Fe en las muestras de *Egeria densa* colectadas con escaso daño o ningún daño (Muestras 1 a 3) presentan concentraciones de Fe inferiores que las plantas con daño evidente (Muestras 4 a 8). La concentración promedio de Fe de las plantas con escaso o ningún daño evidente fue de 13251 mg kg⁻¹ (d.e. 7573 mg kg⁻¹), en tanto que las plantas afectadas mostraron una concentración promedio de 40090 mg kg⁻¹ (d.e. 5822 mg kg⁻¹), lo que representa una concentración 3,0 veces mayor. Los valores clasificados como de alta

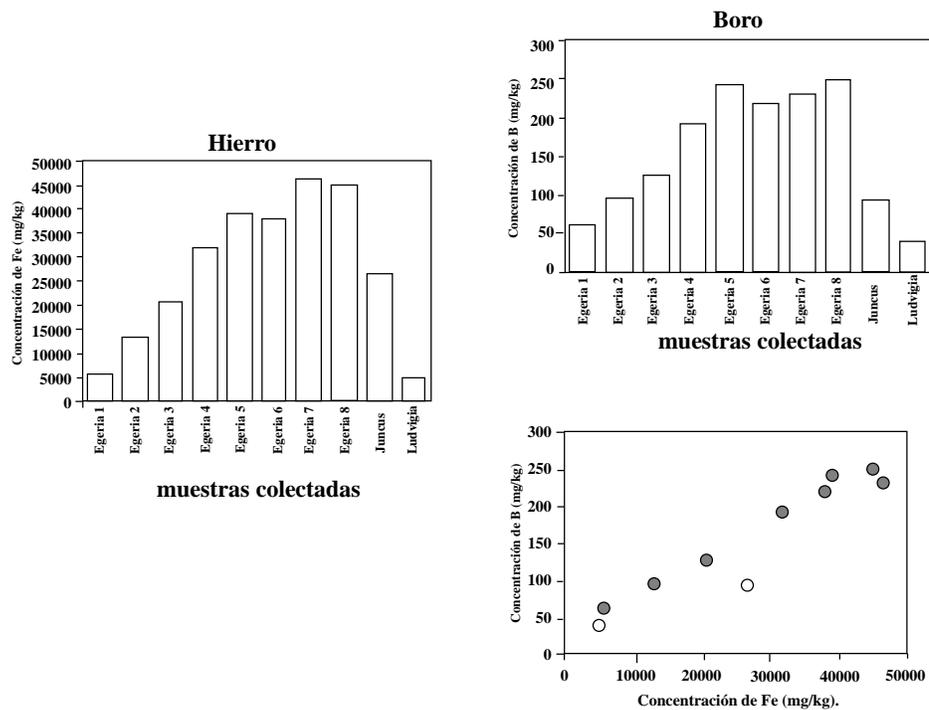


Figura 1: Variación de la concentración de hierro y de boro en las plantas acuáticas muestreadas. Relación entre la concentración de hierro y boro en las plantas. En círculos negros *Egeria densa* y en círculos blancos *Juncus* y *Ludwigia*.

Figure 1: Variation of iron and boron concentration of the aquatic plants sampled. Relationship between Fe and B concentrations in plants sampled. *Egeria densa* (black circles), *Juncus* and *Ludwigia* (white circles).

concentración de Fe en *Egeria densa* fueron 1,5 veces más altos que en *Juncus bulbosus* y 8,3 veces más altos que en la muestra de *Ludwigia peploides*. Reportes de concentración de Fe en estudios realizados en plantas de *Egeria densa* creciendo en Jupitá (Brasil) muestran valores promedios de 2345 mg kg⁻¹ (Correa *et al.*, 2003). Las concentraciones de Fe en las plantas enfermas de *Egeria densa* provenientes del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter son 17,1 veces mayores. Incluso los valores de la muestra de plantas más sanas (sin daños evidentes, Muestra 1) colectada en este estudio son 2,43 veces más altos que los valores reportados en Brasil.

En especies cultivadas en condiciones de inundación la absorción de Fe puede causar toxicidad. La toxicidad se manifiesta por un “bronceo” de las hojas (Yamagushi, 1989), lo cual coincide con los daños observados en *Egeria densa*. Esta sintomatología ha sido

definida para arroz con toxicidad de Fe en concentraciones mayores a 700 mg kg⁻¹ (Yamagushi, 1989). Esto corresponde a cerca de 10 veces las concentraciones usuales definidas para cultivos con crecimiento normal, ya que las plantas C4 requieren cantidades más altas de Fe que las C3 (caso de *Egeria densa*), pero los niveles críticos de deficiencia son de alrededor de 72 mg kg⁻¹, en plantas C3 y cerca de 64 mg kg⁻¹ en plantas C4, aunque en los ápices de crecimiento, en las zonas meristemáticas, el nivel crítico es cercano a 200 mg kg⁻¹. La toxicidad de Fe aumenta la actividad de las polifenol oxidasas y los polifenoles oxidados son la causa del “bronceo” (Peng y Yamagushi, 1993). También, el exceso de Fe puede producir un aumento en la formación de radicales libres derivados del oxígeno, lo cual conduce a la formación de hidroxilos, que son altamente fitotóxicos y responsables de la peroxidación de los lípidos de las membranas y de la degradación de

Cuadro 1: Zonas de muestreo y estado de las plantas de *Egeria densa*.**Table 1:** Sampling areas and visual plant condition of *Egeria densa* sampled

Muestra	Lugar	Río	Profundidad (cm)	Estado visual	Verde (%)	Brotos terminales	
						Largo (cm)	Diámetro (cm)
<i>Egeria densa</i> 1	Las Animas	Calle-calle	0	Sano	100	26,25	3,69
<i>Egeria densa</i> 2	Terminal de buses	Calle-calle	20	Sano	90	11,85	3,10
<i>Egeria densa</i> 3	San Luis de Alba	Cruces	200	Sano	35	15,58	3,43
<i>Egeria densa</i> 4	Punucapa	Cruces	180	Muy Dañada	15	6,81	2,59
<i>Egeria densa</i> 5	Muelle Punucapa	Cruces	100	Muy Dañada	15	3,24	2,06
<i>Egeria densa</i> 6	San Ramón	Cruces	200	Débil	20	7,32	2,09
<i>Egeria densa</i> 7	Frente San Ramón	Cruces	120	Muy Dañada	5	2,52	1,80
<i>Egeria densa</i> 8	Las Palmas	Cruces	180	Débil	10	9,05	1,80

proteínas, tal como ha sido mostrado en *Epilobium hirsutum*, una planta poco tolerante al Fe en humedales (Marschner, 1995).

También, las concentraciones de boro en las plantas de *Egeria densa* son altas. Estas concentraciones están directamente asociadas con las concentraciones de Fe, como se observa en la Figura 1. La asociación mostró un alto coeficiente de determinación ($r^2 = 0.968$; $p <$

0.001) y, de acuerdo a su pendiente, existen 211 ± 15 mg de Fe por cada mg de boro presente en un kg de materia seca. No existe una explicación para esta asociación por lo que se requiere de una mayor investigación al respecto. Por otra parte, se determinó una asociación negativa entre la concentración de Fe y la concentración de P en las plantas ($r^2 = 0.891$; $p = 0.004$; Figura 2). La concentración de P promedio de las

Cuadro 2. Concentraciones promedio de elementos minerales medidos en plantas de *Egeria densa* en el río Cruces y río Valdivia y valores reportados por Correa et al. (2003) en Jupitá, Brasil.**Table 2:** Average concentration of mineral elements measured in *Egeria densa* plants growing in Valdivia and Cruces rivers and values reported by Correa et al. (2003) in Jupitá, Brasil.

Elemento	Resultados del estudio		Correa et al. (2003)	
	Promedio	d.e.	invierno	verano
N (g 100 g ⁻¹)	1.928	± 0.314	2.60	2.59
P (g 100 g ⁻¹)	0.218	± 0.072	0.19	0.15
K (g 100 g ⁻¹)	3.103	± 1.060	1.56	1.75
Ca (g 100 g ⁻¹)	0.914	± 0.172	2.76	1.73
Mg (g 100 g ⁻¹)	0.185	± 0.065	0.49	0.36
S (g 100 g ⁻¹)	0.343	± 0.065	0.32	0.25
Al (mg kg ⁻¹)	3006.3	± 1187.1	1305.3	1330.0
Mn (mg kg ⁻¹)	2364.0	± 862.3	n.d.	n.d.
Cu (mg kg ⁻¹)	61.5	± 42.9	20.7	5.9
Zn (mg kg ⁻¹)	66.3	± 34.4	102.9	20.7

d.e. desviación estándar

n.d. no determinado

plantas de *Egeria densa* fue similar a la concentración medida en invierno en plantas de *Egeria densa* en Brasil (Cuadro 2). La relación negativa entre Fe y P sugiere una interferencia del Fe en la absorción de P por las plantas, lo cual podría ser el resultado de una disminución del P en solución, causado por una precipitación de fosfato de Fe en el agua, cuando existen altas concentraciones de este elemento. Estas hipótesis deben seguir siendo estudiadas con análisis de aguas y de sedimentos.

Las concentraciones de Al y de Mn fueron altas (en el caso de aluminio es cerca de 2,3 veces superior a la concentración observada en Brasil) aunque están fuera de los rangos tóxicos y, en ambos elementos, su distribución no se asoció en forma evidente con la sintomatología observada en las plantas de *Egeria densa*. En

los datos entregados por Correa *et al.* (2003) no se midió la concentración de Mn en las plantas (Cuadro 2). La mayoría de las plantas con sintomatología evidente presentaron concentraciones promedio similares o ligeramente mayores de Al y Mn que las plantas aparentemente más sanas. No se encontró asociación entre la concentración de Fe y la concentración de Al o de Mn en las plantas (Figura 3), lo que sugiere que la mayor concentración de Fe observada en las plantas no se debería a una disminución general del pH de las aguas, que solubilice cationes ácidos desde los sedimentos del río. Un ingreso puntual y mayoritario de Fe en las aguas en el río Cruces parece una explicación más plausible.

Las concentraciones de Cu fueron en promedio superiores a las determinadas en Brasil

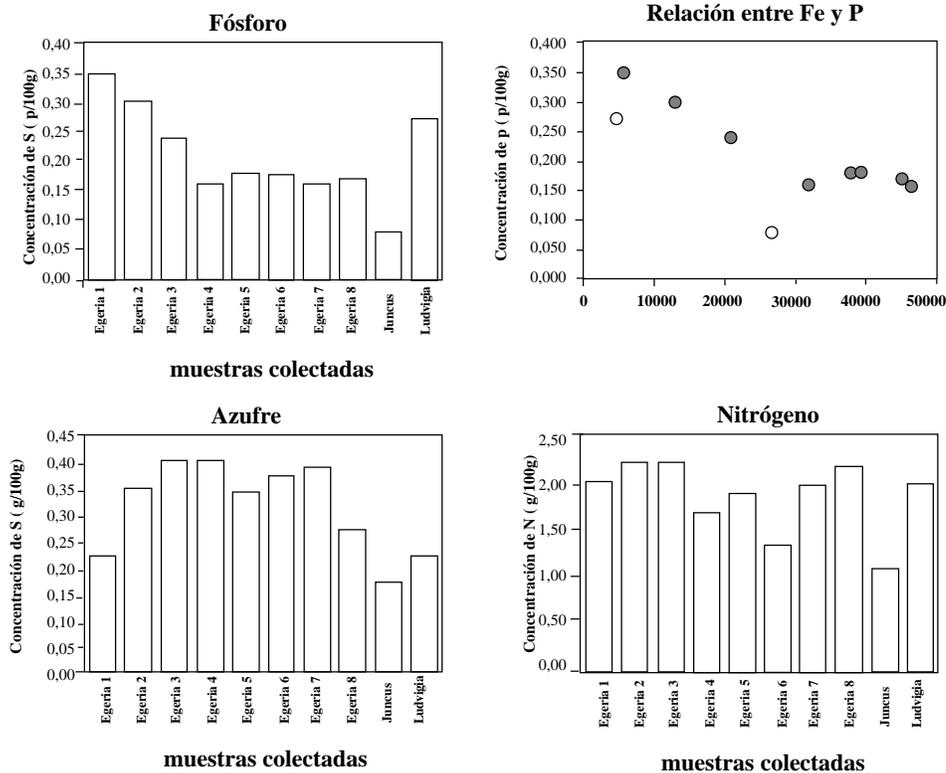


Figura 2. Variación de la concentración de fósforo, azufre y nitrógeno en las especies acuáticas muestreadas. Relación entre la concentración de Fe y P en las plantas. En círculos negros *Egeria densa* y en círculos blancos *Juncus* y *Ludwigia*.

Figure 2: Variation of phosphorus, sulphur and nitrogen concentration in the aquatic plants sampled. Relationship between Fe and P concentrations in

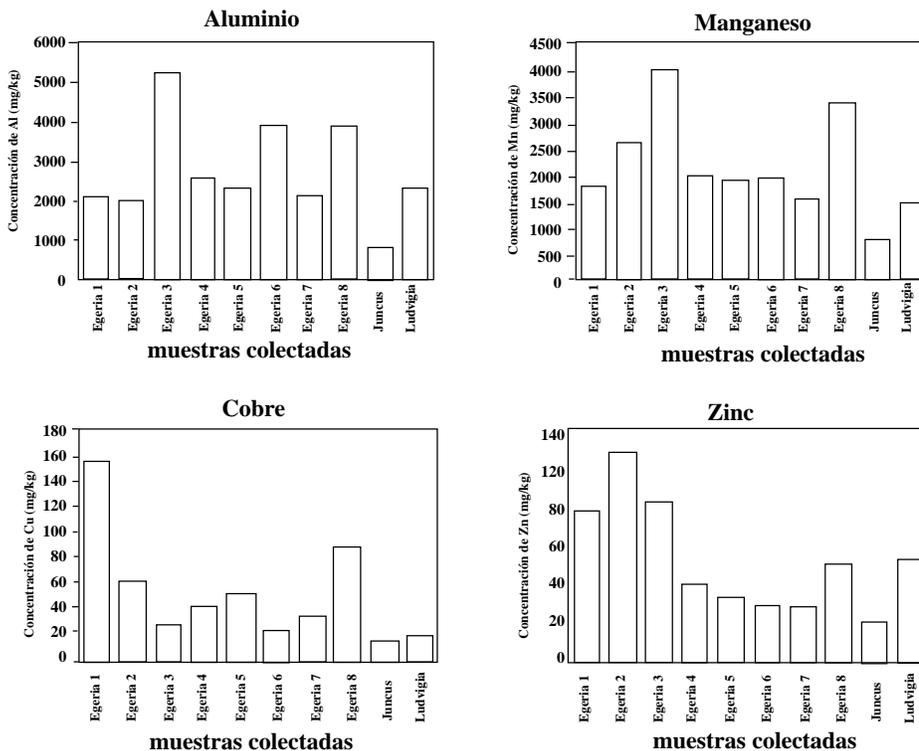


Figura 3: Variación de la concentración de Aluminio, Manganeso, Cobre y Zinc en las plantas acuáticas muestreadas.

Figure 3: Variation of aluminum, manganese, copper and zinc concentrations in the aquatic plants sampled.

y las de Zn están dentro del rango de los valores encontrados por Correa *et al.* (2003) (Cuadro 2). Su distribución muestra que las plantas que no presentaron sintomatología evidente tienen valores mayores que las plantas con sintomatología de daño (Figura 3). Esto sugiere que no serían estos microelementos los responsables de los daños observados.

La concentración de N fue ligeramente inferior a la observada en el estudio de Correa *et al.* (2003) y la de S fue ligeramente superior, pudiéndose considerar que estos valores están dentro de los rangos normales para las especies vegetales (Marschner, 1995). Las concentraciones de K fueron más altas que las medidas por Correa *et al.* (2003), en tanto las concentraciones de Ca y Mg estuvieron bajo los valores medidos en ese estudio (Cuadro 2), lo que sugiere que el aumento observado de Fe en los tejidos sería en desmedro de la acumulación de Ca y Mg. Sin embargo, las concentraciones

de K, Ca y Mg son similares a las observadas en praderas presentes en suelos de la serie Valdivia, bajo condiciones de nutrición óptima (Balocchi *et al.*, 2001), lo que sugiere que la disponibilidad de K es alta y proviene de los suelos y es coincidente con los bajos niveles disponibles de Ca y Mg comúnmente observados en estos suelos (Balocchi *et al.*, 2001). Estos resultados refuerzan la hipótesis de que las altas acumulaciones de Fe observadas en las plantas no provendrían de la solubilización de Fe desde los sedimentos de las zonas inundadas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Andwandter, sino que podrían ser de origen antrópico.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que existe una acumulación de Fe en concentraciones muy altas

en las muestras de *Egeria densa* colectadas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Andwanter del río Cruces y que esta puede ser una causa probable de la disminución de esta especie observada en los últimos muestreos. También, hipotéticamente, las altas concentraciones de Fe en las plantas sobrevivientes de *Egeria densa* podrían contribuir a causar una toxicidad en las aves que se alimentan de *Egeria densa*

REFERENCIAS

- BALOCCHI, O., PINOCHET, D., WITTEW, F., CONTRERAS, P., ECHEVERRÍA, R.; GUZMÁN, F. 2001. Rendimiento y composición mineral de una pradera permanente fertilizada con magnesio. *Pesquisa agropecuaria brasileira* 36: 1909-1317.
- CONAMA-UACH. 2004. Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Andwanter en la Provincia de Valdivia. Primer Informe de de Avance. Dirección Regional Conama Xª Región de los Lagos-Universidad Austral de Chile. 70p. <http://www.avesdechile.cl/lestudio.pdf>
- CORREA, M.R., VELINI, E.D.; ARRUDA, D.P. 2003. Composição química e bromatológica de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. *Planta Daninha* 21: 7-13.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press, Londres. 889 p.
- PENG, X.X., YAMAGUSHI, M. 1993. Ethylene production in rice bronzing leaves induced by ferrous iron. *Plant and Soil* 149: 227-234.
- RAMÍREZ, C., GODOY, R., HAUENSTEIN, E.. 1982. Las especies de «Luchecillos» (Hydrocharitaceae) que prosperan en Chile. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 14: 47-55
- RAMÍREZ, C., SAN MARTIN, C., MEDINA, R., Contreras, D. 1991. Estudio de la flora hidrófila del Santuario de la Naturaleza Río Cruces (Valdivia, Chile). *Gayana Botánica* 48: 67- 80.
- SADZAWKA, A., GREZ, R., CARRASCO, M.A., MORA, M. 2004. Métodos de Análisis de tejidos vegetales. Comisión Nacional de Acreditación. Sociedad Chilena Ciencia del Suelo. 53 p. http://www.inia.cl/platina/pubyc om / c h a r l a s / d o c s / asadzawka_tejveg_2004.pdf
- SAN MARTÍN, C., CONTRERAS, D., RAMÍREZ, C. 2000. El recurso vegetal del Santuario de la Naturaleza «Carlos Andwanter» (Valdivia, Chile). *Revista Geográfica de Valparaíso* 31: 225-235.
- SCHLATTER, R.P., NAVARRO, R.A., CORTI, P. 2002. Effects of El Niño Southern Oscillation on numbers of Black-necked Swans at Rio Cruces Sanctuary, Chile. *Colonial Waterbirds* 25 (Special Publication 1):114-122.
- YAMAGUSHI, M. 1989. Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by sulfate potassium applications. *Plant and Soil* 117: 275-286.