



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias

Escuela de Ciencias

Profesor Patrocinante

M. Sc. Cristina San Martín Padovani

Instituto de Botánica

Facultad de Ciencias

**VARIACIÓN COMPARATIVA DE BIOMASA ESTACIONAL EN DOS MACRÓFITOS
DE LA REGIÓN DE VALDIVIA, CHILE**

Tesis de Grado presentada como parte de
los requisitos para optar al **Grado de
Licenciado en Ciencias Biológicas.**

CAROLA TAHTIANA BOETTCHER FUENTES

VALDIVIA – CHILE

2007

A mi hija Constanza

Agradecimientos

A la profesora M. Sc. Cristina San Martín P., por su valiosa ayuda en conocimiento y disposición en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Carlos Ramírez G., por su gran espíritu emprendedor y sus valiosos conocimientos que me ayudaron a comprender detalladamente mi tesis.

Al Decano de la Facultad de Ciencias Dr. Carlos Bertrán V., por su calidez y cordialidad como persona, por aceptar participar en la tesis.

A la Directora de escuela Dra. Gladys Ruiz D., por su amabilidad en solucionar asuntos académicos y por su infaltable simpatía.

A mi familia en especial a mi marido Rodrigo Cabello, por su inagotable paciencia en apoyarme día a día en que finalmente resultara la tesis.

A mi pequeña Constanza en entregarme su dulzura mientras trabajaba. Y por supuesto a mis padres Eduardo Boettcher y Marianela Fuentes, que gracias a ellos les doy hoy la satisfacción de ser una profesional.

Y sin duda a mi hermano Sebastian Boettcher y a mi querida Omita, por ayudarme en mi hogar mientras trabajaba en la tesis.

Finalmente, a mis compañeras de laboratorio Jessica Pérez y Carla Nicolás, por compartir junto a mí momentos agradables en el Instituto de Botánica.

ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	6
	1.1. Summary.....	7
2.	INTRODUCCIÓN.....	8
	Objetivo general.....	11
	Objetivos específicos.....	11
	Hipótesis.....	11
3.	MATERIAL Y MÉTODO.....	12
	3.1. Características de las especies estudiadas.....	12
	3.1.1. <i>Egeria densa</i> Planchon (Hydrocharitaceae).....	12
	3.1.2. <i>Limnobium laevigatum</i> Heine (Hydrocharitaceae).....	13
	3.2. Lugar de recolección.....	14
	3.3. Clima.....	15
	3.4. Métodos.....	15
	3.4.1. Metodología de colecta.....	15
	3.4.2. Determinación de biomasa.....	16
	3.4.2.1. Contenido hídrico.....	16
	3.4.3. Análisis Químico Proximal.....	16
	3.4.3.1. Contenido de ceniza.....	16
	3.4.3.2. Materia orgánica.....	17
	3.4.3.3. Proteína bruta.....	17
	3.4.3.4. Extracto etéreo.....	17
	3.4.3.5. Hidratos de carbono.....	18

3.4.3.6.	Fibra cruda.....	18
3.4.3.7.	Valor calórico.....	19
4.	RESULTADOS.....	20
4.1.	Productividad de <i>Egeria densa</i>	20
4.2.	Productividad de <i>Limnobium laevigatum</i>	32
4.3.	Formas de vida.....	41
5.	DISCUSIÓN.....	43
5.1	Conclusiones.....	48
6.	LITERATURA CITADA.....	49
7.	ANEXO.....	58

1. RESUMEN

Se comparó la producción estacional de biomasa de *Egeria densa* (hidrófito arraigado y sumergido) y de *Limnobium laevigatum* (hidrófito flotante libre en superficie), en la cuenca inferior del río Cayumapu, tributario del río Cruces, en Valdivia, Chile. Durante el estudio ambas especies competían en los bañados aledaños al río Cayumapu, sin embargo, después de terminado el muestreo en terreno, sufrieron una brusca reducción de sus poblaciones. Mensualmente se cosechó la biomasa de las dos especies, la que después de lavada fue separada en los diferentes órganos que constituyen el cormo de cada una (raíces, estolones, tallos, hojas sumergidas, natantes y aéreas). Ambas especies presentaron una alta variación estacional de biomasa y un aumento de la necromasa en primavera, insinuando un factor que destruye la biomasa formada en esa época favorable. La biomasa de raíces de *Limnobium laevigatum* es superior a la de *Egeria densa*, lo que está de acuerdo con las funciones de cada una. La relación estacional biomasa/necromasa fue distinta en ambas especies, indicando una estacionalidad diferente en sus crecimientos. Las dos especies presentaron altos contenidos de ceniza y de proteína, común a todos los macrófitos. Las poblaciones de *Limnobium laevigatum* completan su ciclo de vida, desarrollando flores masculinas y femeninas, que forman frutos y semillas, por el contrario, las de *Egeria densa*, son líneas vegetativas formada únicamente por individuos masculinos. El valor calórico resultó ser superior en *Egeria densa*, lo cual le da una mayor eficiencia ecológica frente a *Limnobium laevigatum*. Para esta última, se constató sin embargo una mayor agresividad, determinada al parecer por la forma de vida flotante que inhibe el desarrollo de las plantas sumergidas por sombreado.

1.1 Summary

The seasonal production of biomass of *Egeria densa* (rooted and submerged hydrophyte) and of *Limnobium laevigatum* (floating free in surface hydrophyte) was compared in the inferior river basin of the Cayumapu river, tributary of the Cruces river, in Valdivia Chile. During the study both species competed in the swamps ones bordering to the Cayumapu river, nevertheless, after finished the land sampling, underwent an abrupt reduction of their populations. Monthly the biomass of the two species was harvested that after washed was separated in the different organs that constitute corm of each one (roots, estolones, stems, submerged, natantes and aerial leaves). Both species presented a high seasonal variation of biomass and an increase of necromasa in spring, insinuating a factor that destroys the biomass formed at favorable time. The biomass by roots of *Limnobium laevigatum* is superior to the one of *Egeria densa* which is in agreement with the functions of each one. The seasonal relation biomass/necromasa was different in both species, indicating a different estacionality in its growth. The two species presented high contained protein and ash stops, common to all the macrophytes. The populations of *Limnobium laevigatum* complete their life cycle, developing masculine and female flowers, that form fruits and seeds, on the contrary, those of *Egeria densa*, are vegetative lines formed solely by masculine individuals. The caloric value turned out to be superior in *Egeria densa* which gives to a greater ecological efficiency forehead him to *Limnobium laevigatum*. For this last one, a greater aggressiveness, determined apparently by the form of floating life was stated nevertheless that inhibits the development of the plants submerged by shaded.

2. INTRODUCCIÓN

Los macrófitos acuáticos, también llamados hidrófitos, juegan un rol fundamental en la estructura de los ecosistemas límnicos, incrementando su complejidad espacial y ecosistémica (Pellicice *et al.*, 2005). Actualmente, los macrófitos acuáticos representan menos del 1 % del total de la flora vascular terrestre (Hauenstein *et al.*, 1992; Ramírez & San Martín, 2006) y a pesar de ello, constituyen un grupo biológicamente interesante, por su alto grado de especialización y por su simpleza corporal (Rodríguez *et al.*, 1987). Ellos tienen importantes aplicaciones entre las que destacan el servir como alimento, como fertilizante, para producción de biogas, como purificadores de aguas servidas o como indicadores ecológicos de condiciones límnicas (Hauenstein *et al.*, 1999; Ramírez & San Martín, 2006a). Por estas razones han sido considerados importantes componentes de las comunidades dulciacuícolas y salobres (Roberts, 1999). Sin embargo, un excesivo desarrollo de macrófitos por eutrofización de un cuerpo acuático, puede causar serias alteraciones en estos ecosistemas y dificultar el uso de ellos por el hombre (Ramírez *et al.*, 2004).

Entre las características biológicas relevantes de este grupo de plantas, están las diferentes formas de propagación, que una misma especie puede presentar, otorgándoles en algunos casos el carácter de maleza muy agresiva (Tanaka *et al.*, 1997). En general en plantas acuáticas, existe una tendencia a la sustitución de la forma sexual de reproducción que lleva a la propagación mediante semillas, por mecanismos de reproducción vegetativa, que favorecen la dispersión de diásporas. Este último carácter reproductivo es una ventajosa adaptación, llevándoles en muchos casos a colonizar rápidamente los ambientes acuáticos (Zambrano, 1980). El crecimiento de las poblaciones de hidrófitos puede variar ampliamente de un año a otro, respondiendo a cambios

hidrológico-climáticos de las cuencas de captación y a factores ambientales de los propios ecosistemas acuáticos, lo que se refleja en incrementos o disminuciones de sus coberturas (Getsinger & Dillon, 1984; Braga *et al.*, 1999).

En cualquier cuerpo acuático dulciacuícola es posible distinguir una zona litoral o ribereña de poca profundidad y una zona pelágica, alejada de la orilla, de mayor profundidad y con un espejo de agua visible (Ramírez *et al.*, 1982). La zona litoral se presenta como un lugar de transición o ecotonal entre el cuerpo acuático y el medio terrestre. Es en esta zona donde los macrófitos acuáticos encuentran su lugar de vida, allí se disponen en franjas paralelas a la orilla, que en conjunto conforman la llamada zonación litoral. En ella se suceden diferentes tipos de plantas, comenzando por aquellas acuáticas sumergidas más cerca del espejo de agua para terminar en un pantano de plantas palustres o helófitos (Ramírez & Añazco, 1982), que limita con la vegetación terrestre. Entre estas dos franjas se disponen otras de menor tamaño conformadas por plantas acuáticas flotantes libres y plantas acuáticas con hojas natantes (San Martín *et al.*, 1999).

La vegetación que forma cada una de estas franjas va modificando el fondo acuático que constituye su hábitat, con su crecimiento y con el atrape de sedimento. Esto hace que la zonación comience avanzar hacia el centro del cuerpo acuático en un proceso dinámico llamado sucesión, y el cual terminará por cegar el ambiente límnic, si no existe una corriente que se oponga.

El terremoto de 1960 (Watanabe & Karzulovic, 1960), que cambió drásticamente el paisaje valdiviano, creando gran cantidad de bañados como producto de los hundimientos de tierra, entregó nuevos lugares de vida a la vegetación acuática (Ramírez *et al.*, 2003). Una de las primeras especies en extenderse fue *Egeria densa* (Luchecillo) macrófito sumergido que colonizó todos los bañados someros y las orillas de los cauces más profundos (Gunckel, 1963). Su

desarrollo fue tan explosivo que muy pronto se transformó en una maleza molesta, que impedía el uso antrópico de los cuerpos de agua (San Martín *et al.*, 2000). En muchos lugares hubo que demarcar y limpiar vías de navegación para botes y zonas de balnearios. Sin embargo, su explosión poblacional entregó una excelente fuente de alimentación para aves acuáticas, entre ellos el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), que pasó a ser un emblema de la región (Schlatter *et al.*, 1991). Para proteger la flora y la fauna de los bañados valdivianos, en 1981 se creó el Santuario de la Naturaleza “Carlos Anwandter” en el río Cruces y humedales adyacentes, designándolo además, como sitio Ramsar (Salazar, 1989; Davis *et al.*, 1996).

Posteriormente, en el año 1995 apareció una segunda maleza acuática, *Limnobium laevigatum* (Hierba guatona), en este caso un hidrófito flotante libre. Esta planta que también sirvió de alimento a los cisnes, comenzó a extenderse por los bañados de los ríos Pichoy y Cayumapu, desplazando las poblaciones de *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) un hidrófito natante nativo y también, las de Luchecillo existentes en el lugar, amenazando desde allí, invadir el Santuario de la Naturaleza, con su eficiente dispersión vegetativa hidrócora.

El trabajo de terreno del presente estudio se realizó en el año 2001 en el marco del Proyecto de Investigación DID-UACH N° S-98-22 que trataba de establecer las razones por las cuales *Limnobium laevigatum* amenazaba la existencia entre otras plantas, de *Egeria densa* en los bañados mencionados. Sin embargo, cuando dicho estudio todavía estaba en ejecución, en el año 2004, se produjo una repentina reducción de las poblaciones de ambas especies en el Santuario (Ramírez *et al.*, 2006). Esta reducción poblacional provocó también la drástica disminución de las poblaciones de cisnes de cuello negro existentes en el Santuario. Además, los pantanos ribereños a los bañados, comenzaron a sufrir transformaciones ecológicas, que aún persisten y que señalan la búsqueda de un nuevo equilibrio, sin dichas malezas.

Junto con estudiar el desarrollo de *Egeria densa* y *Limnobium laevigatum*, para conocer las razones de su agresividad y el desplazamiento de una por la otra, esta tesis, representa una línea base, que permitirá estudiar lo ocurrido en el Santuario y comparar el estado actual, con lo que fuera la vegetación acuática antes del suceso comentado, de la reducción de poblaciones de ambas malezas.

Objetivo general

Dar a conocer los mecanismos con los cuales *Limnobium laevigatum* logró competir con éxito y desplazar a *Egeria densa* de algunos de los bañados someros del Santuario del río Cruces.

Objetivos específicos

- Dichos mecanismos se buscarán principalmente, en el desarrollo estacional de cada una de las especies investigadas, estimado a través de la producción de biomasa y de la muerte de la misma en forma de necromasa.
- Se relacionarán estos mecanismos con la forma de vida del cuerpo vegetativo que, en la competencia vegetal, cumple un rol importante.

Hipótesis

La hipótesis de trabajo supone que *Limnobium laevigatum* es mucho más eficiente que *Egeria densa*, debido entre otras razones, a la mayor producción de biomasa, a su mayor eficiencia ecológica y al mejor aprovechamiento estacional de los recursos del Santuario. Secundariamente, se espera poder establecer si esta producción de biomasa es más importante que el hábito o forma de vida de las plantas involucradas.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Características de las especies estudiadas

3.1.1 *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae) “luchecillo”.

Comúnmente llamado “luchecillo”, se caracteriza por ser una planta acuática sumergida que crece arraigada al sustrato por medio de raíces adventicias, manteniendo su cuerpo vegetativo, por donde absorbe los nutrientes, totalmente sumergido en ambientes límnicos (Rubilar, 2002). Aunque soporta algo de salinidad, no puede prosperar en ambientes salobres, lo que limita su distribución (Hauenstein & Ramírez, 1986). Sus tallos se fragmentan fácilmente y flotan libremente formando nuevos individuos, cuando logran establecerse y arraigar en aguas someras con fondos limosos (Tanner *et al.*, 1993). Es una planta Monocotiledónea nativa del Sur del Brasil, de Uruguay y del Norte de Argentina (Saint John, 1961). Se supone que llegó accidentalmente a la región de Valdivia a comienzos del siglo pasado, seguramente al ser introducida para ser utilizada como planta de acuario. Esto justifica la presencia de flores masculinas y ausencia de femeninas (Saint John, 1967), que obligan a que esta planta a una reproducción vegetativa, por trozos de vástagos que se desprenden de la planta madre, con ayuda de agentes externos principalmente aves, mamíferos acuáticos y también por las actividades humanas. Posteriormente, estos trozos son dispersados por las corrientes.

Los tallos son cilíndricos, ascendentes o tendidos, algunos ramificados dicotómicamente en grandes trechos. Además son frágiles, algo quebradizos, de menos de 1.0 cm de diámetro, pero de 2.0 a 5.0 cm de diámetro si se incluyen las hojas. Las hojas son sésiles, oblongo a lineares, agudas con borde finamente aserrado, presentan un color verde oscuro y su apariencia es lustrosa.

Estas hojas son muy simples con sólo un nervio central y sin epidermis. Las hojas inferiores están dispuestas opuestas o en verticilos de a 3, las hojas medias y superiores van en verticilos de 4 a 8. Las flores unisexuadas sobresalen en la superficie del agua (Ramírez *et al.*, 1982). Los individuos pueden alcanzar tamaños superiores a los 2.0 m de longitud (Cook & Urmi-Koenig, 1984).

Egeria densa es muy sensible a la luz y a la temperatura (Barko & Smart, 1981), su presencia está supeditada además, a la existencia de un fondo blando limoso, donde pueda arraigar.

En nuestro país el Luchecillo se distribuye puntualmente en cuerpos acuáticos límnicos entre Valparaíso y Valdivia (Ramírez *et al.*, 1986)

3.1.2 *Limnobium laevigatum* Heine (Hydrocharitaceae) o “hierba guatona”.

Es un hidrófito flotante libre en superficie, de origen sudamericano, asilvestrada en ambientes dulciacuícolas lénticos de Chile (San Martín & Boettcher, 2005). Tiene hojas en roseta, pecioladas y dispuestas sobre largos estolones, que al fragmentarse forman nuevos individuos.

Se desarrolla en ambientes lénticos, soportando altos grados de eutrofización y de contaminación con materia orgánica. Si las condiciones son favorables (preferentemente baja radiación solar), puede llegar a florecer. Son plantas dioicas, con flores trímeras inconspicuas. Posee dimorfismo foliar con dos tipos de hojas: hojas natantes (flotantes) y hojas emergentes (aéreas) (San Martín & Boettcher, 2004). Las hojas natantes son de forma redondeada levemente cordiforme, de corto pecíolo, de color verde oscuro y lámina brillante. Este tipo de hoja en su cara inferior, posee un desarrollado tejido esponjoso o aerénquima (1,5 cm de grosor) que, junto

con facilitar el intercambio de gases, permite a las hojas flotar y mantener el cuerpo de la planta en la superficie del agua. Por el contrario, las hojas emergentes son erguidas, aéreas y largamente pecioladas, característica que le permite acomodar la lámina a sus requerimientos de luminosidad. También poseen tejido esponjoso, pero menos desarrollado (0,5 cm. de grosor). Sólo en primavera, época de dispersión, dominan las hojas natantes. Posee flores monoicas que yacen en la superficie del agua. Las raíces son finas y profusas (Cook, 1998). Posee fructificación extendida en el tiempo con semillas viables, prácticamente durante todo el año. Su dispersión realizada mediante “embalsados” formados por varios individuos y que pueden alcanzar a más de 1.0 m de diámetro, es favorecida por la corriente. Presenta un crecimiento vegetativo prolongado, que se extiende a todo el año.

En nuestro país *Limnobium laevigatum* se distribuye entre Coquimbo y Valdivia, siendo las principales cuencas hidrográficas que coloniza: Río Elqui, Estero Mantagua, Río Aconcagua, Estero Limache, Curacaví, Concepción, Mulpún y Cayumapu.

3.2. Lugar de recolección

Se recolectaron muestras de *Limnobium laevigatum* y *Egeria densa* en la cuenca inferior del río Cayumapu, tributario del río Cruces, en un sector ubicado 20 km al Norte de la ciudad de Valdivia, Chile. La cuenca inferior de este río se extiende desde la carretera que conecta Valdivia con la Ruta 5 por el Norte, hasta la desembocadura, común con el río Chorocamayo, en el río Cruces.

En toda su extensión, el río Cayumapu presenta cauces de aguas profundas y bañados someros, con sustrato fangoso constituido por arena y limo y abundante sedimento orgánico,

estando bajo la influencia periódica de aguas oceánicas por acción de las mareas y es mantenido como tal, por la abundante precipitación de la región (San Martín *et al.*, 1993).

3.3. Clima

El clima del lugar de trabajo es de tipo húmedo templado, caracterizado por lluvias anuales promedios de 2500 mm que fluctúan entre 1800 y 3100 mm y una temperatura promedio anual de 12 °C con una oscilación anual de 9,2 °C, siendo los meses de enero y julio los extremos cálido y frío con 16,7 y 7,5 °C, respectivamente (Montaldo, 1983).

3.4. Métodos

3.4.1 Metodología de colecta

Recolectar muestras de material para biomasa en plantas acuáticas es relativamente difícil, por la inestabilidad del sustrato y porque al sacar la muestra, parte de ella puede ser llevada a la deriva por la corriente o por el viento (Stanley, 1982). Para evitar estos inconvenientes se procedió a confeccionar un muestreador “ad hoc”, que consistía en un tubo de latón con una sección cuadrada de 25 cm por lado. Este tubo tenía un largo de 80 cm y estaba abierto por ambos extremos. En el extremo superior se fijaron unas asas para sujetarlo y el extremo inferior fue afilado, para que corte el material vegetal y pueda ser fácilmente enterrado en el fango. Se trabajó en aguas someras de manera que siempre sobresalía parte del tubo sobre la superficie del agua. Una vez enterrado se procedía a cosechar todo el material vegetal encerrado en él. Este material fue trasladado en bolsas plásticas, para ser cuidadosamente lavado en el laboratorio y

retirar el fango y sedimento adherido a las plantas. Una vez limpio se procedió a sortear los diferentes ítemes en que se separaba el material vegetal.

3.4.2 Determinación de biomasa

La biomasa fue determinada utilizando el método gravimétrico (Steubing *et al.*, 2002). El material utilizado fueron los ítemes sorteados en cada planta (material verde: hojas y tallos; y raíces) y puestos en bolsas de papel. Los órganos separados se secaron por 5 días a 80°C en estufa con circulación de aire. El material se dejó enfriar durante 24 horas, antes de determinar el peso seco. En el caso de los órganos muertos se prefiere hablar de necromasa (material pardo), en lugar de biomasa (Ramírez & Añazco, 1982).

3.4.2.1 Contenido hídrico

El contenido hídrico se obtuvo por diferencia de peso entre el peso fresco y el peso seco determinado, tanto como biomasa, como también como necromasa.

3.4.3. Análisis Químico Proximal

Los análisis químicos de la composición proximal fueron hechos moliendo las muestras en un mortero, siendo previamente limpiado después de cada muestra para evitar contaminación. Materia orgánica, hidratos de carbono, fibra cruda, extracto etéreo, proteína bruta y fibra cruda, fueron determinados por las técnicas tradicionales (San Martín *et al.*, 1994).

3.4.2.1 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas se determinó por calcinación. El material vegetal se seca en estufa a 105 °C hasta peso constante y se pulveriza. Luego se pesan 3,0 g del material

pulverizado en un crisol, para posterior calcinación en mufla (600 °C) durante 6 hrs. Se enfría en desecador. La diferencia de peso entre el material vegetal inicial y del extraído de la mufla proporciona el peso de la materia orgánica calcinada. La ceniza remanente en el crisol es de color gris a blanco.

3.4.2.2 Materia orgánica

El método más utilizado es el de Walkley y Black, cuyo fundamento es la determinación del carbono orgánico que se oxida con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico; el exceso de oxidante se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido (Arrieche & Pacheco, 1992).

3.4.2.3 Proteína bruta

La proteína bruta se determinó por el método de Kjeldahl (Steubing *et al.*, 2002), para lo cual primero se seca el material vegetal, puesto en bolsas de papel, depositándolo en una estufa de secado a 105 °C durante 10 minutos y luego a 80 °C hasta peso constante. Enseguida se pulveriza en molino eléctrico. En cada tubo Kjeldahl se depositan 200 a 300 mg del material vegetal pulverizado, para iniciar la fase de digestión y posterior destilación y titulación. A partir del N total obtenido por el método Kjeldahl y multiplicando este porcentaje por el factor 6,25 se obtiene el porcentaje de proteína cruda.

3.4.3.4 Extracto etéreo

El extracto etéreo o fracción lipídica, se determinó por el método de Goldfish (Fifield, 2000). Fueron procesados 2 g de material vegetal. Los vasos de Becker son

cuidadosamente lavados y secados en estufa de aire a 105°C, se registra el peso y se agregan 40 ml de éter de petróleo aproximadamente por cada vaso, como sugiere el procedimiento² de la AOAC (2000). El principio del procedimiento reside en que el éter de petróleo al calentarse se volatiliza, pasando a través de la muestra y acarreado consigo las sustancias solubles, las que se separan al condensarse el éter en una superficie fría. Éste procedimiento se repite en forma continua hasta que no quede material extraíble en la muestra. El éter se destila y se colecta, el material soluble en éter que permanece en el vaso es sometido a un secado a 105°C hasta peso constante. Posteriormente es introducido en un desecador y después, pesado.

3.4.3.5 Hidratos de carbono

La concentración total de azúcares se determinó mediante el método Fenol-Ácido Sulfúrico con glucosa como estándar, utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu UV-2101PC, a 490 nm (Urbaneja *et al.*, 1997).

3.4.3.6 Fibra cruda

Se determinó por el método de calcinación donde se obtiene el residuo de digestión. Se seca el material vegetal, depositando las bolsas con el material vegetal en estufa a 105 °C durante 10 minutos y luego a 80 °C, hasta peso constante. Se pesan 3 g de material seco pulverizado y se coloca en un matraz Erlenmeyer con 125 ml de H₂SO₄ + 75 ml de agua destilada, hirviendo durante 10 minutos y filtrando al vacío en embudo Büchner el residuo se lava varias veces con agua destilada, hasta comprobar que en el filtrado no se produzca precipitado con BaCl₂. Se traslada el residuo nuevamente al matraz, adicionando 125 ml de KOH + 75 ml de agua destilada. Este

conjunto se hierve nuevamente durante 10 minutos, se filtra en embudo Büchner y el residuo se lava a neutralidad con agua caliente y posteriormente, con acetona. El residuo se traslada a una cápsula de porcelana de peso conocido y se seca durante 3 horas en estufa a 105 °C. Se enfría en un desecador con silica gel y se calcina en mufla a 500 °C durante 6 hrs. Después de enfriar se pesa nuevamente.

El contenido en fibra cruda se calcula por diferencia entre las pesadas de la muestra no calcinada y la calcinada y se expresa en mg · g/1 p.s., o en porcentaje de peso seco.

3.4.3.7 Valor calórico

El valor calórico así como el contenido de ceniza de las muestras fueron determinados en el calorímetro adiabático, de acuerdo a las instrucciones de Lieth & Pfanz (1968). Este parámetro es una buena medida de la eficiencia ecológica de las especies vegetales, especialmente macrófitos como lo plantearon Steubing *et al.* (1979).

4. RESULTADOS

4.1. Productividad de *Egeria densa*

La producción mensual de biomasa, separada por ítemes (materia verde: hojas y tallos, necromasa y raíces) y total de *Egeria densa* se presenta en la Tabla 1. La biomasa más alta se presentó en el mes de Noviembre con 841,4 g/m² lo cual permite suponer que en este mes las condiciones ambientales son las más favorables para la planta. Por el contrario, el mes más desfavorable, con un receso del crecimiento vegetativo se determinó en el mes de Julio con sólo 188,6 g/m².

Tabla 1. Producción anual de biomasa (g/m²) de *Egeria densa*.

Mes	Materia verde	Necromasa	Raíces	Biomasa Total
Marzo	433,6	273,6	16,5	723,7
Abril	216,8	90,4	5,3	312,5
Mayo	246,2	134,3	22,9	403,4
Junio	266,9	161,6	8,6	437,1
Julio	172,5	15,0	1,1	188,6
Agosto	200,8	18,2	11,5	330,5
Septiembre	229,0	221,3	21,8	472,1
Octubre	285,6	132,5	16,8	434,9
Noviembre	370,4	427,8	43,2	841,4
Diciembre	230,6	154,7	15,4	400,7
Enero	367,5	214,6	18,6	600,7
Febrero	382,1	170,1	25,4	577,6

Al graficar estos valores de biomasa mensual (Figura 1), llama la atención la gran variabilidad de ellos. Contrariamente a lo esperado, no se observa un aumento progresivo de la producción de biomasa de primavera a verano, sino, tres épocas anuales de crecimiento. La primera va de Julio a Noviembre, cuando se alcanza la más alta productividad, la segunda va

desde Diciembre, mes en que produce un considerable descenso en la biomasa superior a 50%, hasta Marzo en que nuevamente vuelve a subir, pero con una producción siempre menor a Noviembre. El último período de crecimiento va de Abril a Junio, mes de la mayor productividad invernal. Llama la atención que a cada vértice de mayor productividad, le sigue un mes con un brusco descenso de ella, hecho muy difícil de explicar.

Con un análisis de ordenación múltiple se observa que los valores del mes de Julio son muy diferentes a los demás. En el resto de los meses se aprecia cierta relación entre los meses que forman grupos homogéneos con diferente composición (Tabla 2).

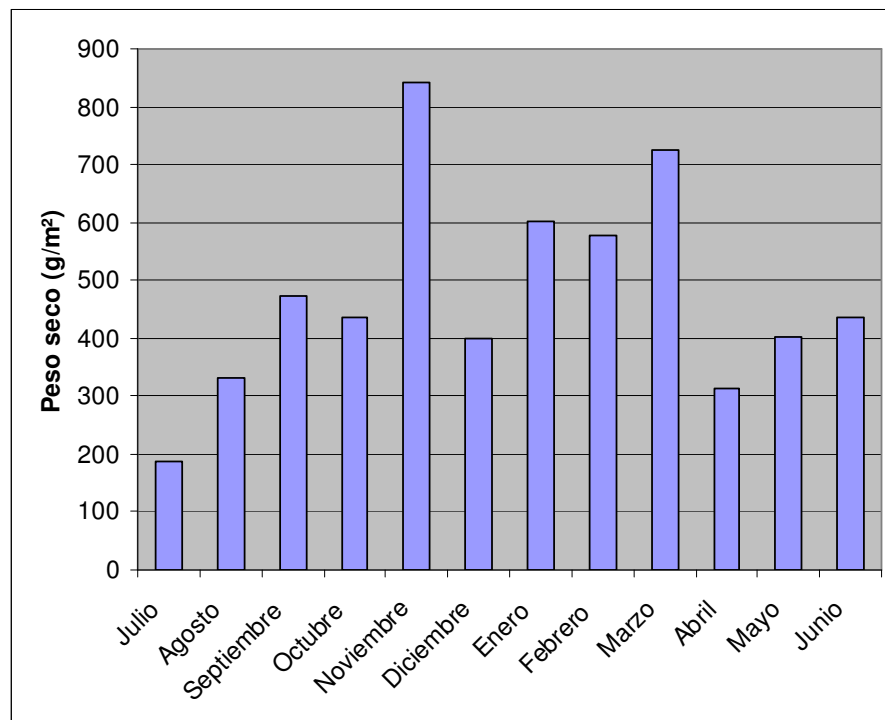


Figura 1. Producción mensual de biomasa de *Egeria densa*.

Tabla 2. Formación de grupos homogéneos entre los valores de biomasa mensual de *Egeria densa*, mediante el análisis de ordenación múltiple.

Mes	Promedio	Grupos homogéneos				
Julio	188,6	X				
Abril	312,5		X			
Mayo	403,4		X	X		
Noviembre	841,4		X	X		
Septiembre	472,1		X	X	X	
Junio	437,1			X	X	
Agosto	330,5			X	X	X
Febrero	577,6				X	X
Enero	600,7					X
Marzo	723,7					X
Octubre	434,9					X

La Figura 2 muestra gráficamente la producción mensual de biomasa separada en los tres ítemes que fue posible separar: material verde vivo (biomasa), material pardo muerto (necromasa) y raíces. En este caso, la producción de biomasa verde sigue una curva esperada, con un aumento sostenido de invierno a primavera, pero su mayor altura se alcanza en Marzo. Lo normal sería que la mayor productividad se presente en primavera verano, pero no en Marzo, este hecho denuncia la presencia de un factor que está afectando la producción de biomasa en los meses de primavera y verano. Lo anterior se confirma al analizar la curva de producción de necromasa, que en realidad corresponde a la muerte de los órganos verdes (tallos y hojas). Dicha curva muestra un vértice en el mes de Septiembre, que alcanza a la curva de biomasa y otro, en el

mes de Noviembre que la sobrepasa. De lo anterior se desprende que junto con un aumento de la biomasa en primavera, se produce una considerable muerte de ella, causada por un factor desconocido. Finalmente, la producción de raíces se mantiene siempre baja debido a que ellas cumplen principalmente una función de sostén, porque la planta puede absorber nutrientes por toda su superficie.

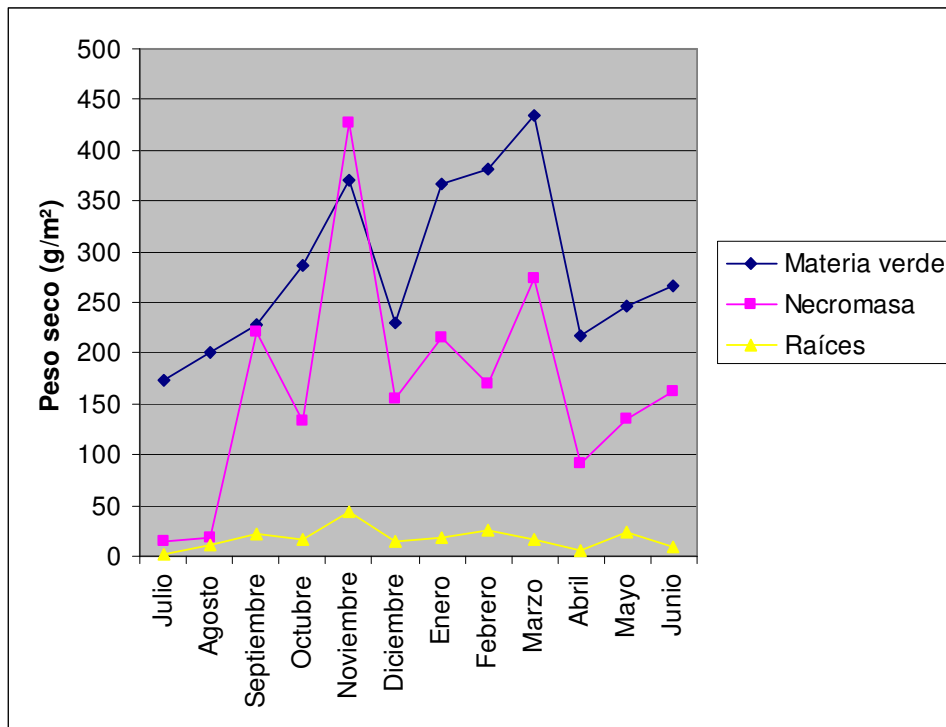


Figura 2. Producción mensual de biomasa de *Egeria densa*.

Cuando los valores mensuales se reúnen en valores estacionales (Tabla 3) se observa que aquellos de producción de biomasa total están próximos entre sí en otoño, primavera y verano; mientras que en invierno hay un marcado descenso (Figura 3). Estas diferencias se aprecian mejor al presentarlas en porcentaje (Tabla 4). Al considerar los valores estacionales desagregados

en los diferentes ítems (Tabla 4 y Figura 4) se observa que la producción de necromasa, efectivamente alcanza su mayor valor en primavera; mientras que la biomasa, lo alcanza en verano. Lo anterior confirma el hecho de que en primavera existe un factor que provoca una muerte exagerada de la biomasa producida.

Tabla 3. Producción estacional de biomasa (g/m^2) de *Egeria densa*.
Se agrega desviación estándar

Estación	Materia verde (hojas y tallos)	Necromasa	Raíces	Biomasa Total
Otoño	$298,9 \pm 96,02$	$166,1 \pm 78,09$	$14,9 \pm 7,05$	479,9
Invierno	$213,4 \pm 39,55$	$64,9 \pm 68,36$	$7,1 \pm 4,38$	285,4
Primavera	$295,0 \pm 58,10$	$260,5 \pm 123,70$	$27,3 \pm 11,44$	582,8
Verano	$326,7 \pm 68,23$	$179,8 \pm 25,39$	$19,8 \pm 4,16$	526,3

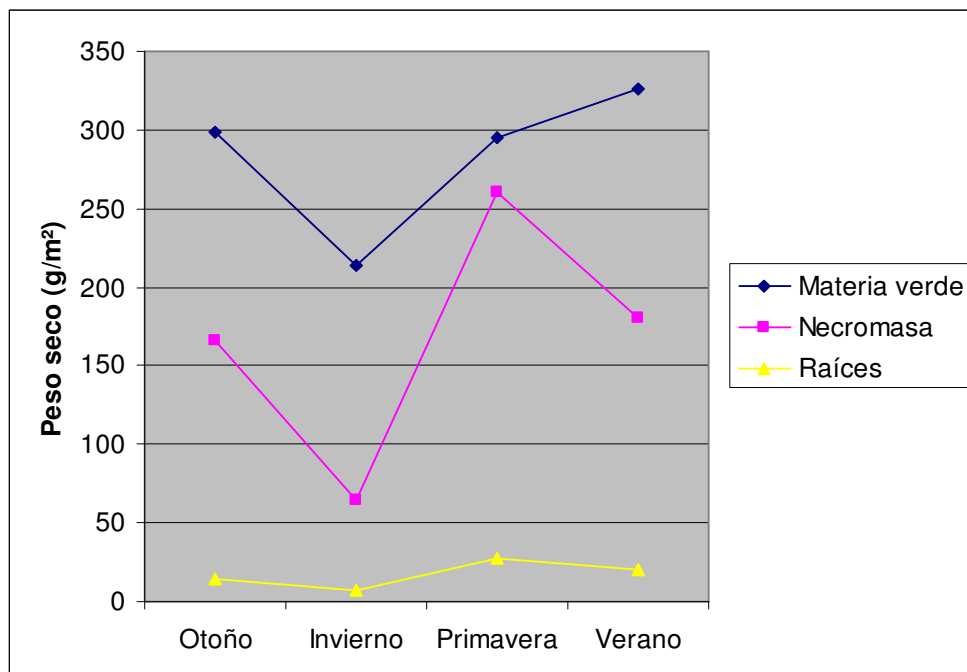
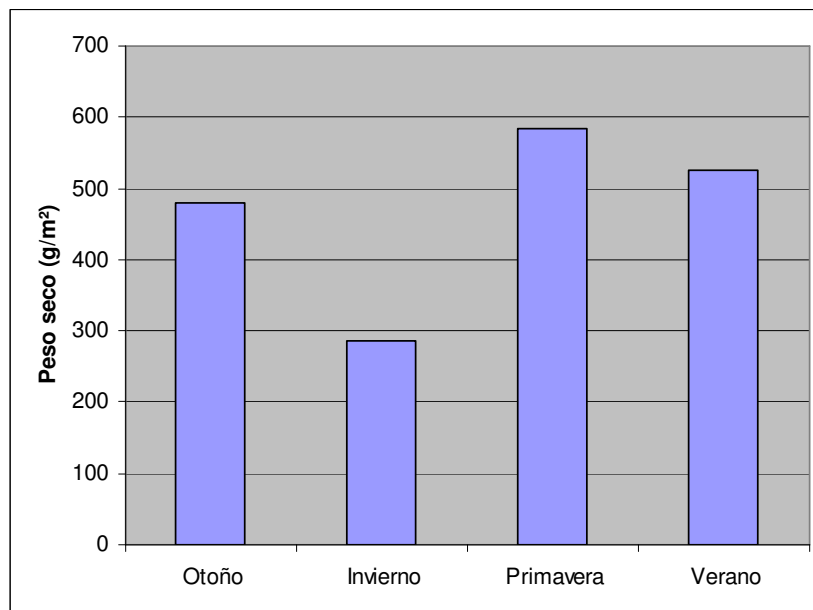


Figura 3. Producción estacional de biomasa en *Egeria densa*.

Tabla 4. Biomasa total estacional de *Egeria densa*.

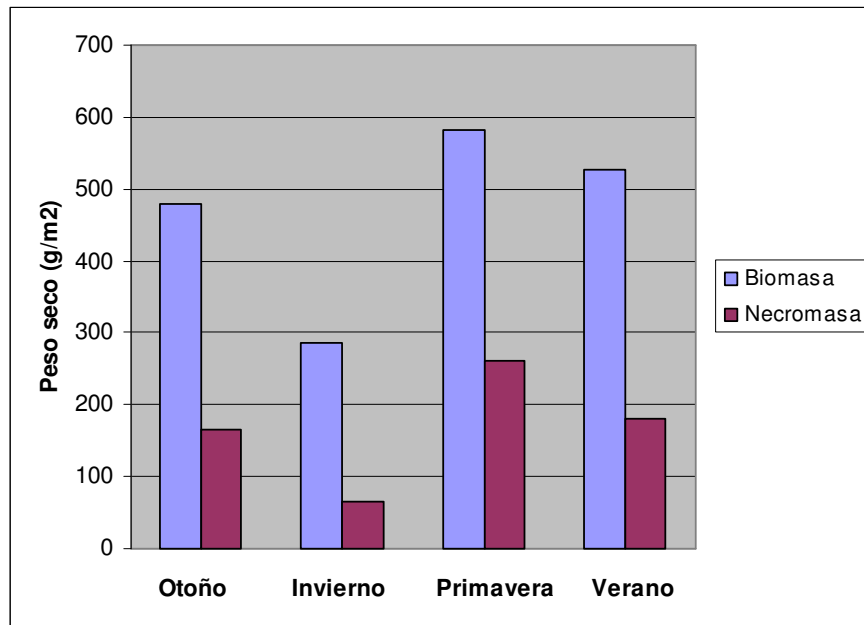
Estación	Peso seco (g/m ²)	Porcentaje
Otoño	479,9	25,60
Invierno	285,4	15,22
Primavera	582,8	31,09
Verano	526,3	28,08

Figura 4. Biomasa total estacional de *Egeria densa*.

La relación estacional biomasa/necromasa en *Egeria densa* presenta su menor valor en primavera, cuando la producción de necromasa alcanza su valor más alto (Tabla 5). Curiosamente, la mayor relación se presenta en invierno cuando la biomasa y la necromasa son menores. Se esperaría que en invierno esta relación fuera más baja, por la mayor mortalidad de la época desfavorable. En la Figura 5 se aprecia que efectivamente, en primavera se alcanzan los mayores valores de biomasa y necromasa, lo de la última, no es esperable.

Tabla 5. Relación estacional Biomasa/Necromasa (g/m^2) en *Egeria densa*.

Estación :	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Biomasa	479,9	285,4	582,8	526,3
Necromasa	166,1	64,9	260,5	179,8
Total	646,0	350,3	843,3	706,1
Biomasa/Necromasa	2,89	4,40	2,24	2,93

Figura 5. Relación estacional Biomasa/Necromasa en *Egeria densa*.

La materia seca de *Egeria densa* contiene un alto porcentaje de cenizas, 17,32% de promedio (Tabla 6). Consecuentemente el porcentaje promedio de materia orgánica alcanza a 82,68%. El alto contenido de cenizas es algo típico de las plantas acuáticas, que por ser capaces de absorber minerales por toda su superficie, presentan un enriquecimiento en sales minerales, que por lo demás están disponibles permanentemente en el agua.

En la composición proximal dominan los hidratos de carbono con un 46,92% promedio de peso seco de la materia orgánica (Figura 6), este comportamiento corresponde a lo común en todas las plantas. Sigue en importancia la proteína cruda, con un valor promedio de 20,91% de peso seco de la materia orgánica. Este contenido en proteína cruda es un valor muy alto para los vegetales, pero es común en plantas acuáticas sumergidas. Sin embargo, este alto contenido proteico, no tiene mucha aplicación como forraje, dada la ausencia de algunos aminoácidos esenciales para los animales que no aparecen en macrófitos (Feijoó *et al.*, 1996). La fibra cruda presentó un promedio de 14,23% del peso seco de la materia orgánica. Este valor es inferior a lo que es común en los vegetales terrestres. No hay que olvidar que el empuje del agua ayuda al sostén del cuerpo de los macrófitos, haciendo innecesaria una excesiva cantidad de tejidos de sostén, que abundan en fibras. Los valores de extracto etéreo son pequeños, al igual que en las plantas terrestres. El promedio de lípidos no supera el 0,62%.

Tabla 6. Composición química proximal (%) estacional de *Egeria densa*.

Contenido/Estación:	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio anual
Ceniza	15,57	23,24	16,21	14,28	17,32
Materia orgánica	84,43	76,76	83,79	85,75	82,68
Proteína bruta	18,38	23,51	21,19	20,57	20,91
Extracto etéreo	0,68	0,97	0,53	0,31	0,62
Hidratos de carbono	53,39	39,05	45,54	49,71	46,92
Fibra cruda	11,98	13,23	16,53	15,16	14,23

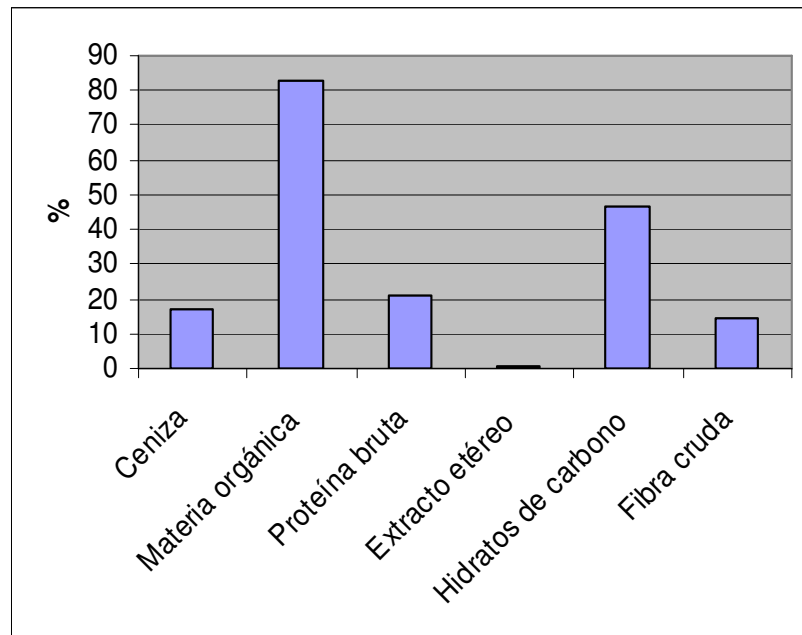


Figura 6. Promedio anual de la composición química proximal (%) de *Egeria densa*.

La Figura 7 muestra la variación estacional en el contenido proximal del peso seco de *Egeria densa*. Mientras la materia orgánica presenta su menor valor en invierno, la ceniza tiene en esa época su mayor valor, lo cual concuerda con el hecho de que ambos componentes tienen un recorrido inverso. La proteína bruta presenta su mayor valor en invierno, mientras que la fibra cruda, lo hace en primavera.

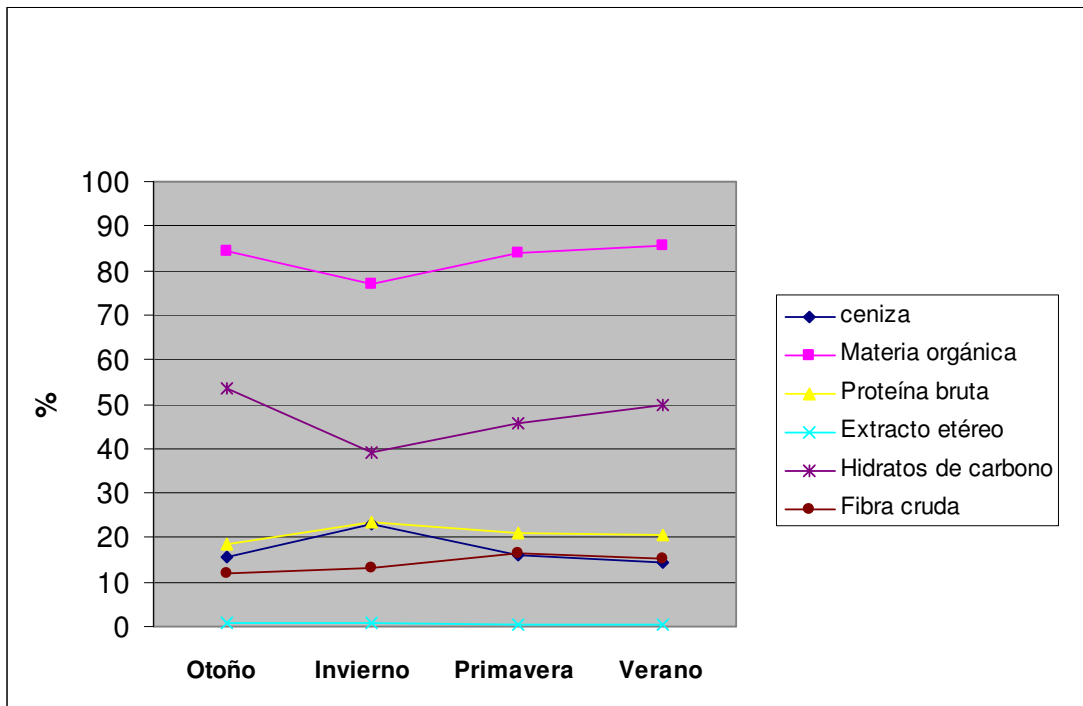
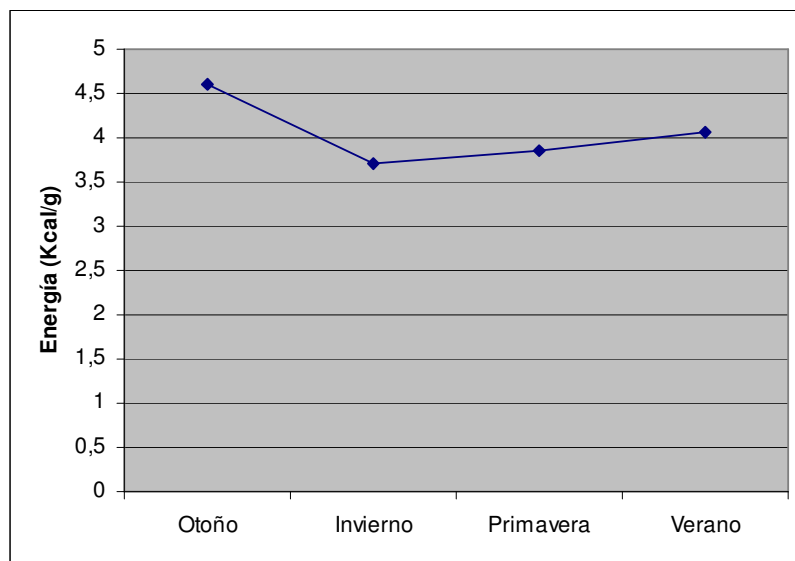


Figura 7. Composición química proximal estacional de *Egeria densa*.

El valor calórico de *Egeria densa* alcanza un promedio de 4,06 Kcal/g, lo cual es bastante bajo para lo que es común en vegetales terrestres (Tabla 7). Sin embargo hay que considerar que ese valor incluye el alto porcentaje de ceniza. Si se tomará sólo el valor de materia orgánica seca como referencia, el valor calórico aumentaría considerablemente. En todo caso, y como era de esperar, el menor contenido energético se midió en invierno y el más alto en otoño (Figura 7). Este último valor corresponde a lo que sucede en vegetales terrestres que en otoño, acumulan la mayor cantidad de energía para sobrevivir la época desfavorable.

Tabla 7. Energía (Kcal/g) estacional de *Egeria densa*

Especie/Estación:	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio anual
<i>Egeria densa</i>	4,61	3,70	3,85	4,06	4,06

Figura 7. Energía estacional de *Egeria densa*.

En el Santuario del río Cruces sólo se han encontrado individuos masculinos de *Egeria densa* y por ello, es difícil establecer un calendario fenológico para ella. Por tratarse de una planta acuática sumergida, viviendo en un ambiente muy estable como es la columna de agua, esta especie no presenta cambios estacionales en su aspecto, actuando como un homeófito típico. Sin embargo, su forma de ramificación puede cambiar estacionalmente en climas fríos (Haramoto e Ikusima, 1988). La floración en Valdivia se inicia en el mes de Diciembre alcanzando su mayor valor a comienzos de Enero (Tabla 8). Dentro de este mismo mes se produce un marcado descenso de la floración que vuelve a aumentar en Febrero, para terminar en el mes de Marzo. De

manera que en Valdivia se encuentran flores masculinas de esta especie entre Diciembre y marzo (Figura 8). Posteriormente, no hay frutos, ya que como se indicó, faltan los pies femeninos.

Tabla 8. Número de flores masculinas por m² de *Egeria densa* en el río Cruces, de noviembre 1995 a marzo 1996.

Fecha		Cantidad	Desviación
Día	Mes	Promedio	Estándar
04	Noviembre	0	
11	Diciembre	20,8	± 10,1
06	Enero	127,0	± 31,3
21	Enero	107,0	± 22,0
30	Enero	42,3	± 11,0
19	Febrero	98,9	± 32,2
21	Febrero	27,0	± 20,0
25	Febrero	18,3	± 7,6
30	Marzo	8,4	± 3,3
20	Abril	0	

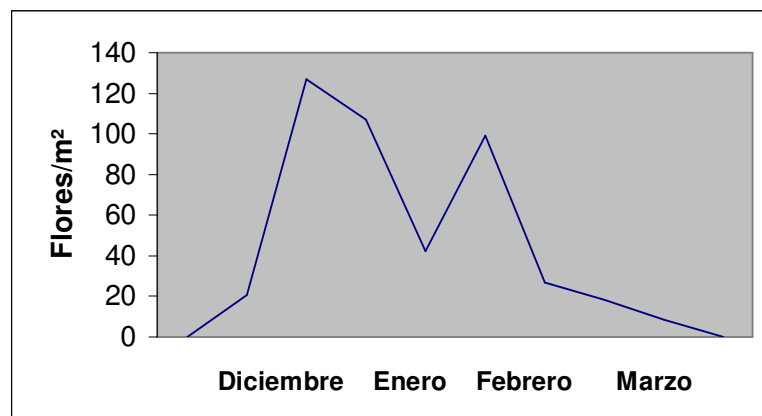


Figura 8. Cantidad promedio de flores masculinas por m² de *Egeria densa* en el río Cruces, de noviembre 1995 a marzo 1996.

4.2 Productividad de *Limnobium laevigatum*

La biomasa total de *Limnobium laevigatum* presentó su mayor valor en verano, con 683,65 g/m² (27, 83%), pero el valor más bajo fue medido en primavera, llegando a 555,72 g/m² y no en otoño e invierno, cuando se presentaron valores intermedios (Tabla 9). En primavera sólo se alcanzó al 22,63% de la biomasa. Para *Limnobium laevigatum* se aprecia entonces, una paulatina disminución de la biomasa desde otoño a primavera y posteriormente, un fuerte aumento en verano (Figura 9). Lo anterior corresponde a una situación anómala que no era dable esperar, ya que la menor biomasa debería presentarse en invierno, estación que sería la más desfavorable (Tabla 10).

Tabla 9. Producción estacional de biomasa (g/m²) de *Limnobium laevigatum*.
Se agrega desviación estándar

Estación	Materia verde (hojas)	Necromasa	Raíces	Estolones	Biomasa total
Otoño	286,39 ± 22,35	40,89 ± 7,21	240,48 ± 45,71	72,96 ± 25,36	640,72
Invierno	188,73 ± 15,87	75,30 ± 7,70	145,46 ± 9,56	166,08 ± 19,28	575,57
Primavera	205,80 ± 11,66	186,40 ± 92,69	81,28 ± 25,01	82,24 ± 13,58	555,72
Verano	285,01 ± 8,19	48,00 ± 3,07	281,54 ± 21,74	81,28 ± 1,37	683,65

Tabla 10. Biomasa total estacional de *Limnobium laevigatum*.

Estación	Peso seco (g/m ²)	Porcentaje
Otoño	640,72	26,10
Invierno	575,57	23,44
Primavera	555,72	22,63
Verano	683,65	27,83

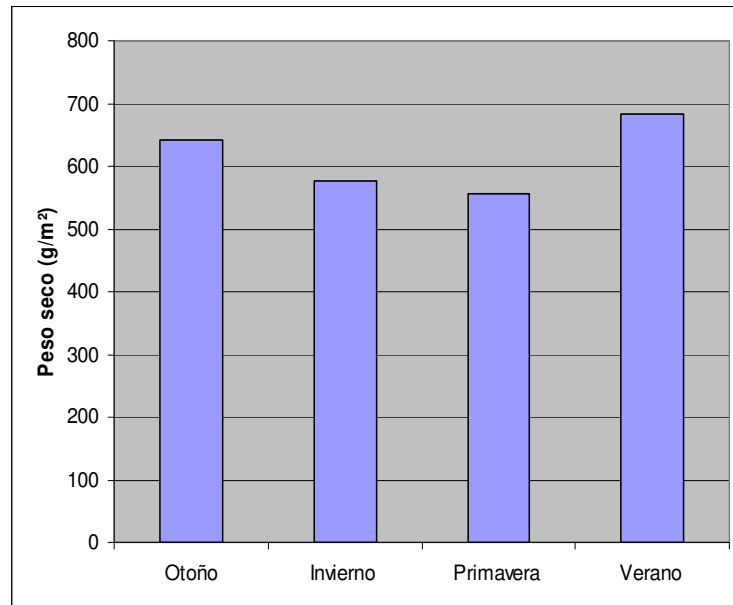


Figura 9. Biomasa total estacional de *Limnobium laevigatum*.

Al graficar la producción estacional de biomasa por ítemes de *Limnobium laevigatum* (Figura 10), se comprueba que aunque la biomasa verde y viva aumenta paulatinamente de invierno a primavera y verano, la necromasa aumenta desde otoño a primavera, estación donde alcanza su mayor valor (186,40 g/m²) (Tabla 9). Se observa además, que en *Limnobium laevigatum* tiene gran importancia la biomasa radical, que aunque alcanza su valor mínimo en primavera (81,28 g/m²), en verano tiene su máxima expresión con 281,54 g/m² de peso seco. En este caso también se aprecia una clara anomalía, en el sentido de que uno esperaría un menor valor en invierno y un máximo en primavera. En *Limnobium laevigatum*, las raíces tienen gran importancia como contrapeso, para la mantención erguida del cuerpo de la planta en la superficie del agua. Por lo anterior, raíces y biomasa verde, presentan un curso estacional bastante coincidente. Los estolones hacen su mayor contribución a la biomasa de *Limnobium laevigatum* en invierno, lo que indica que en esa estación la planta comienza su proceso de reproducción y expansión vegetativa.

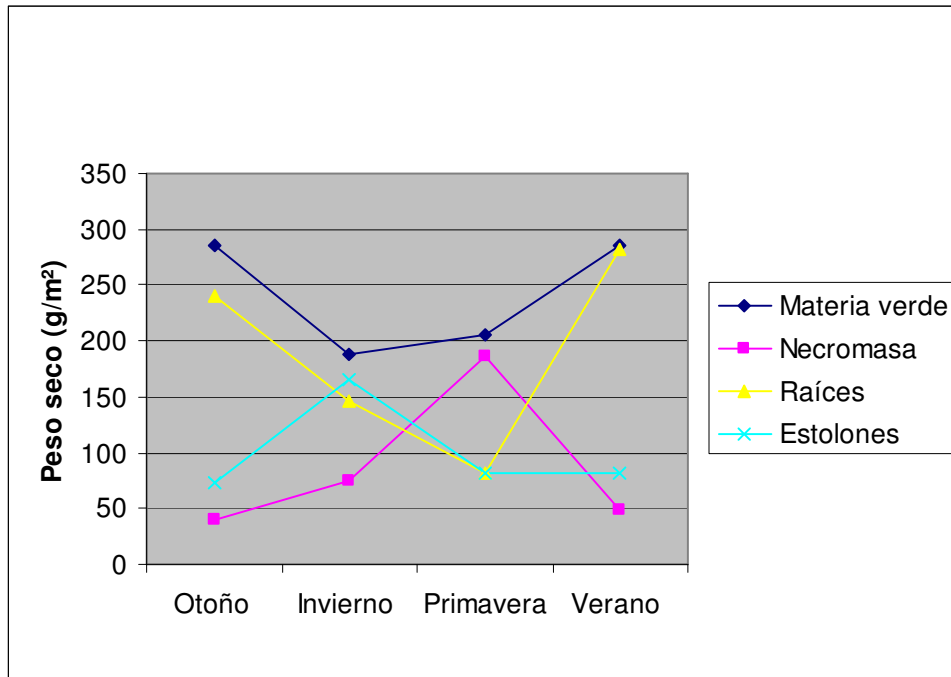
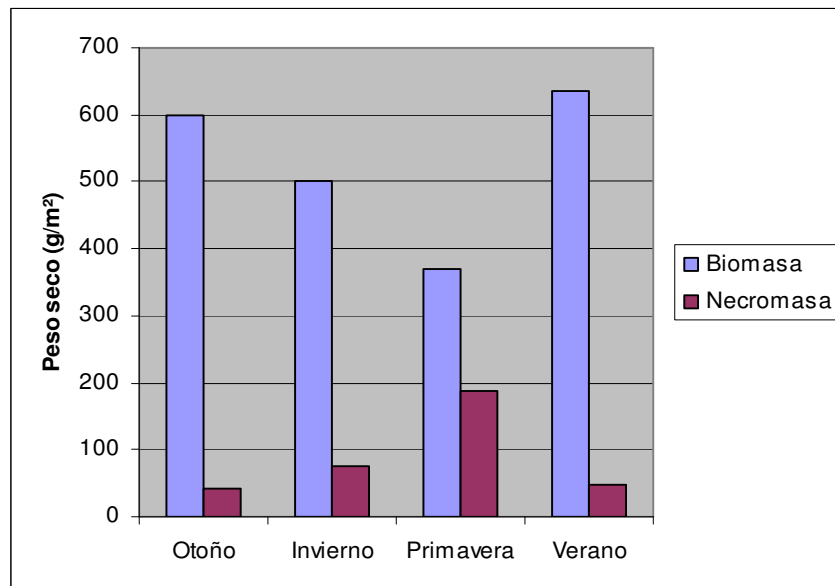


Figura 10. Producción estacional de biomasa de *Limnobiium laevigatum*

La relación estacional biomasa/necromasa de *Limnobiium laevigatum* presentó una gran variación en las diferentes estaciones del año, su valor más alto se midió en otoño con 14,67 y el más bajo en primavera con 1,98 (Tabla 11). Al graficar los valores de bio- y necromasa se aprecia que ambas tienen un recorrido inverso de otoño a primavera, es decir, mientras la biomasa disminuye la necromasa aumenta en el mismo sentido (Figura 11). Curiosamente, en verano se presenta el valor más alto de biomasa y el más bajo de necromasa. Lo anterior indica que la época más favorable para *Limnobiium laevigatum* es verano, mientras que la más desfavorable es primavera. Al parecer, igual que en *Egeria densa*, estaría actuando un factor, que provoca la muerte de la biomasa formada en primavera.

Tabla 11. Relación estacional Biomasa/Necromasa (g/m^2) en *Limnobium laevigatum*.

Estación :	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Biomasa	599,83	500,27	369,32	635,65
Necromasa	40,89	75,30	186,40	48,00
Total	640,72	575,57	555,72	683,65
Biomasa/Necromasa	14,67	6,64	1,98	13,24

Figura 11. Relación estacional Biomasa/Necromasa en *Limnobium laevigatum*.

La composición química proximal estacional de *Limnobium laevigatum* se presenta en la Tabla 12. La ceniza alcanzó un alto valor promedio anual de 17,56. Esta ceniza complica el uso de plantas acuáticas como forraje, ya que puede ser tóxica para los animales. El promedio anual de la materia orgánica llegó a 82,29%. La mayor cantidad de proteína cruda se presentó en primavera, con 20,37% y la menor en verano y otoño, con sólo 10,02%. Los valores de lípidos no superaron la unidad sólo en invierno. Se supone que en esa época hay un excesivo gasto de estos

compuestos. Los hidratos de carbono con un promedio anual de 45,71% presentaron su mayor valor porcentual en invierno. La fibra cruda presentó sus valores más altos en verano y otoño y el menor en invierno. Este ítem alcanzó un promedio anual de 21,29%. Valor bajo al compararlo con una planta terrestre. Al graficar estos valores se observa que la materia orgánica y la proteína cruda alcanzan sus máximos en primavera, mientras que la fibra cruda tiene un recorrido anual opuesto (Figura 12).

Tabla 12. Composición química proximal (%) estacional de *Limnobium laevigatum*.

Contenido/Estación:	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio anual
Ceniza	18,18	16,33	17,55	18,18	17,56
Materia orgánica	81,83	83,67	82,45	81,82	82,29
Proteína bruta	10,02	16,62	20,37	10,02	14,25
Extracto etéreo	1,34	0,39	1,65	1,34	1,18
Hidratos de carbono	47,45	48,56	39,41	47,44	45,71
Fibra cruda	23,02	18,10	21,02	23,02	21,29

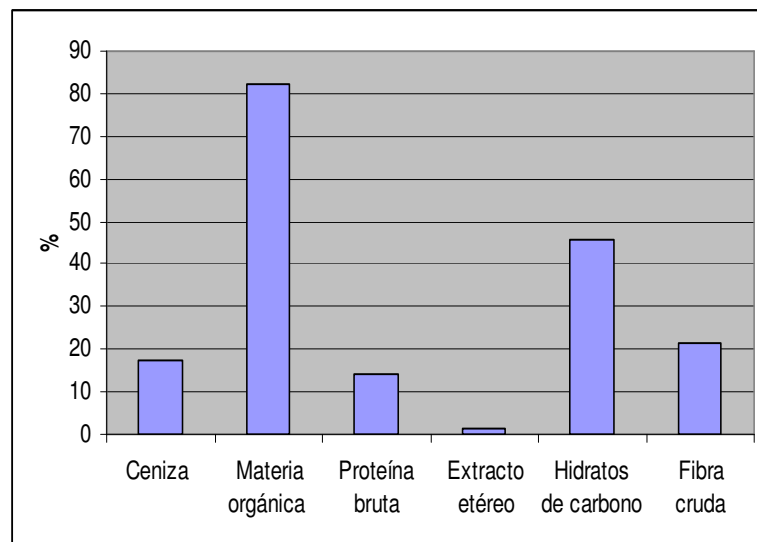


Figura 12. Promedio anual de la composición química proximal de *Limnobium laevigatum*.

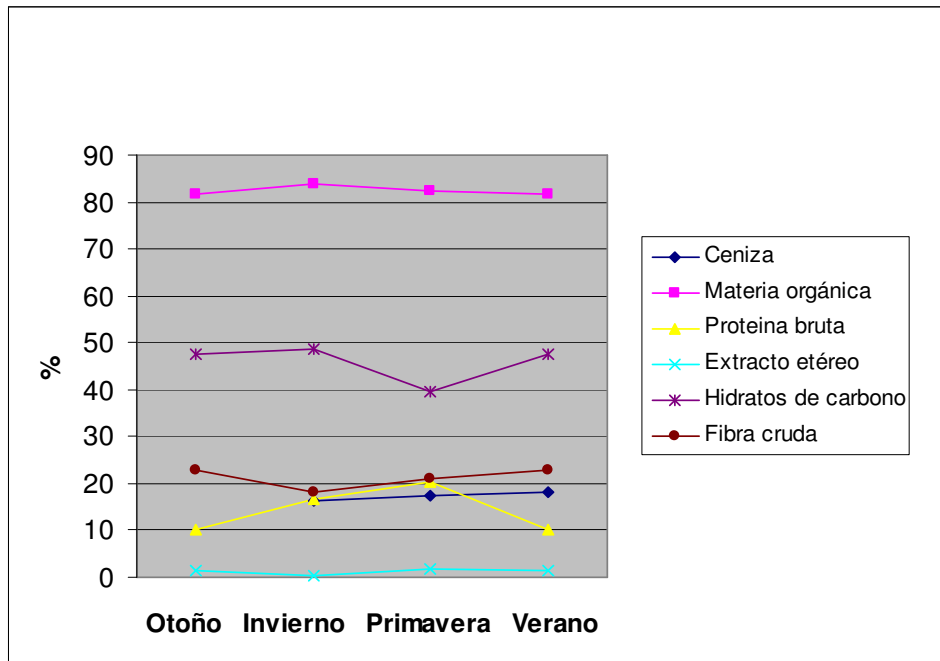
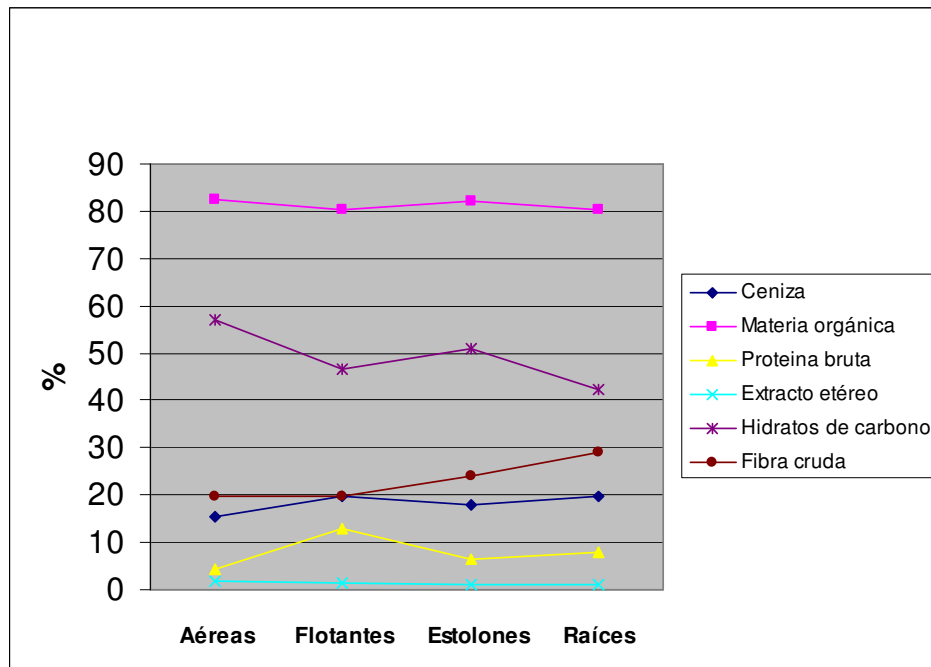


Figura 13. Composición química proximal estacional de *Limnobium laevigatum*.

El contenido de ceniza de *Limnobium laevigatum* es alto, como corresponde a un macrófito (Tabla 13). Los valores de ceniza oscilaron entre 15,56% como mínimo en las hojas aéreas y 19,72% como máximo en raíces, con escasa variación. La materia orgánica que es inversa a la ceniza, alcanzó en todos los órganos, valores sobre 80%. Las hojas flotantes de *Limnobium laevigatum* presentaron la mayor cantidad de proteína bruta, mientras que el menor valor, se presentó en raíces aéreas. Por el contrario, el extracto etéreo fue mayor en hojas aéreas (1,7%) y en hojas flotantes (1,46%). En estolones y raíces alcanzó a 0,94%. Este valor es bastante alto para plantas acuáticas. Los hidratos de carbono presentaron su mayor valor en las hojas aéreas dedicadas preferentemente a la fotosíntesis (Figura 14). Como era de esperar el menor valor de hidratos de carbono se presentó en las raíces. La fibra cruda presentó igual valor en los dos tipos de hoja y el mayor valor en las raíces (28,98%).

Tabla 13. Composición química proximal (%) por órgano de *Limnobium laevigatum*.

Contenido / Órgano:	Aéreas	Flotantes	Estolones	Raíces
Ceniza	15,56	19,64	17,75	19,72
Materia orgánica	82,44	80,36	82,25	80,28
Proteína bruta	4,16	12,76	6,31	7,98
Extracto etéreo	1,70	1,46	0,94	0,94
Hidratos de carbono	57,02	46,59	51,00	42,38
Fibra cruda	19,56	19,56	24,00	28,98

Figura 14. Composición química proximal por órgano de *Limnobium laevigatum*.

El valor calórico de los distintos órganos de *Limnobium laevigatum* varía siguiendo la posición en altura de ellos. El mayor se presenta en las hojas aéreas, sigue el de las hojas flotantes, para continuar descendiendo en estolones. Las raíces presentan el valor más bajo (Tabla 14 y Figura 15). Lo anterior guarda relación no sólo con la posición de los órganos sino también,

con la mayor protección de que gozan. Así, las raíces que están protegidas bajo el agua, presentan el valor más bajo.

Tabla 14. Energía (Kcal/g) por órgano de *Limnobium laevigatum*

Especie / Órgano:	Aéreas	Flotantes	Estolones	Raíces
<i>Limnobium laevigatum</i>	3,49	3,28	3,26	3,24

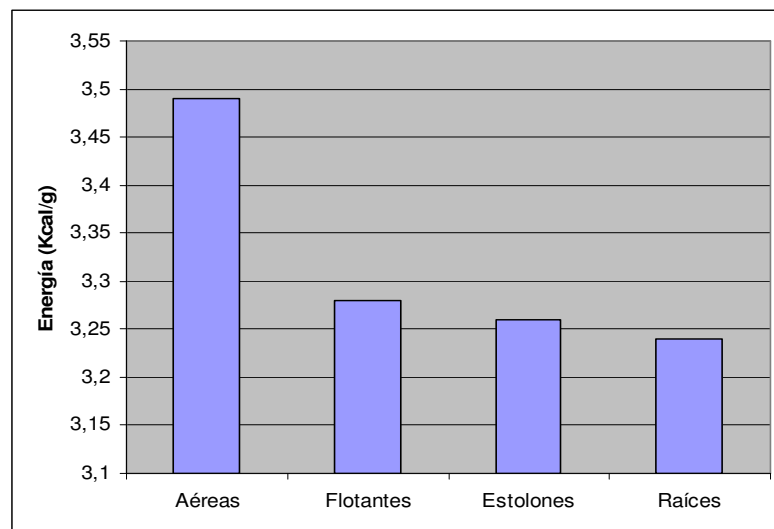


Figura 15. Energía (Kcal/g) por órgano de *Limnobium laevigatum*.

La energía calórica contenida en todos los órganos de *Limnobium laevigatum* alcanzó un promedio anual de 3,38 Kcal., presentando su mayor valor en primavera y el menor en verano (Tabla 15 y Figura 16).

Tabla 15. Energía (Kcal/g) estacional de *Limnobium laevigatum*.

Especie/Estación:	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio anual
<i>Limnobium laevigatum</i>	3,33	3,36	3,51	3,31	3,38

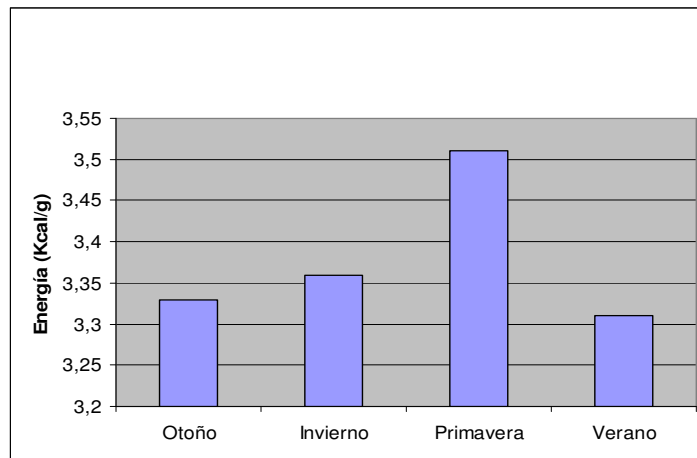


Figura 16. Energía (Kcal/g) estacional de *Limnobium laevigatum*.

Contrariamente a *Egeria densa*, *Limnobium laevigatum* completa su ciclo de vida en la región de Valdivia, por lo que fue posible establecer un calendario fenológico para él. El mayor receso estacional en la actividad vegetativa de esta planta se presenta de junio a septiembre, época en que comienza un vigoroso crecimiento. De enero a marzo se desarrollan las flores y los frutos maduros se encuentran hasta en invierno (Figura 17).

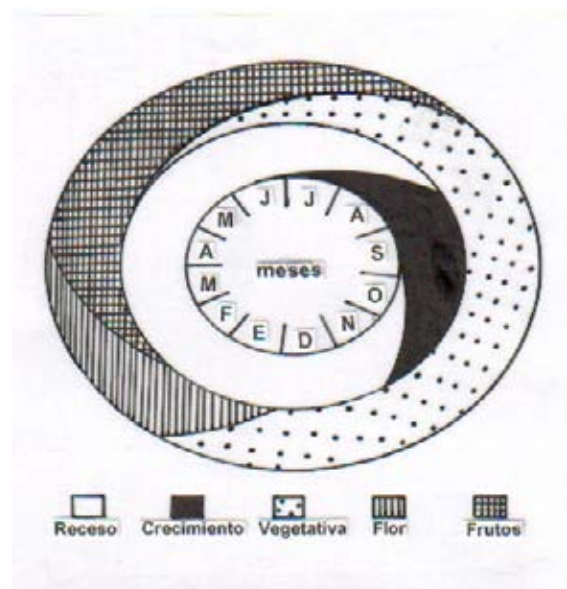


Figura 17. Calendario Fenológico de *Limnobium laevigatum*. El círculo interno muestra el desarrollo vegetativo y el externo, el reproductivo

4.3. Formas de vida

La forma de vida de *Egeria densa* es la de un típico parvopotámido (sinónimo elodeidos), es decir, una planta acuática sumergida, con pocas raíces, capaz de absorber nutrientes por toda su superficie, lo que en el agua está siempre disponibles. Los elodeidos tienen un cuerpo con muchas hojas, muy simplificadas y por lo tanto, son afectados por la sequía, deshidratándose rápidamente. Los parvopotámidos son la forma de vida más frecuente entre las plantas acuáticas chilenas (Ramírez & Steigmeier, 1982). Sin embargo, ellos también pueden ser afectados por un excesivo sombreamiento de plantas acuáticas que flotan libremente sobre la superficie del agua. Lo anterior los hace poco competitivos y por ello, a pesar de que forman grandes poblaciones, éstas sufren drásticos cambios con alteraciones del clima, del nivel del agua y por la competencia con otras especies. Al rellenarse el fondo donde viven, disminuyendo la columna de agua, ellos deben penetrar al espejo de agua, donde es más profundo.

Limnobium laevigatum corresponde a un eichhórvido, es decir, plantas acuáticas grandes que flotan libremente sobre la superficie del agua en cuerpos acuáticos lénticos. Son hierbas estoloníferas lo que les confiere una extraordinaria capacidad de invasión, llegando a cubrir completamente los cuerpos de agua. Se mantienen en la superficie gracias a una roseta de hojas, que presentan abundante aerénquima. Los eichhornidos son muy abundantes en países tropicales y suelen transformarse en malezas peligrosas en los ambientes acuáticos, cuya utilización impiden. En Chile son más bien escasos, ya que además, de *Limnobium laevigatum* sólo se encuentra *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) restringido a la zona central.

La estructura del cuerpo vegetativo de estas formas de vida y su disposición en el hábitat acuático se esquematizan en la Figura 18.

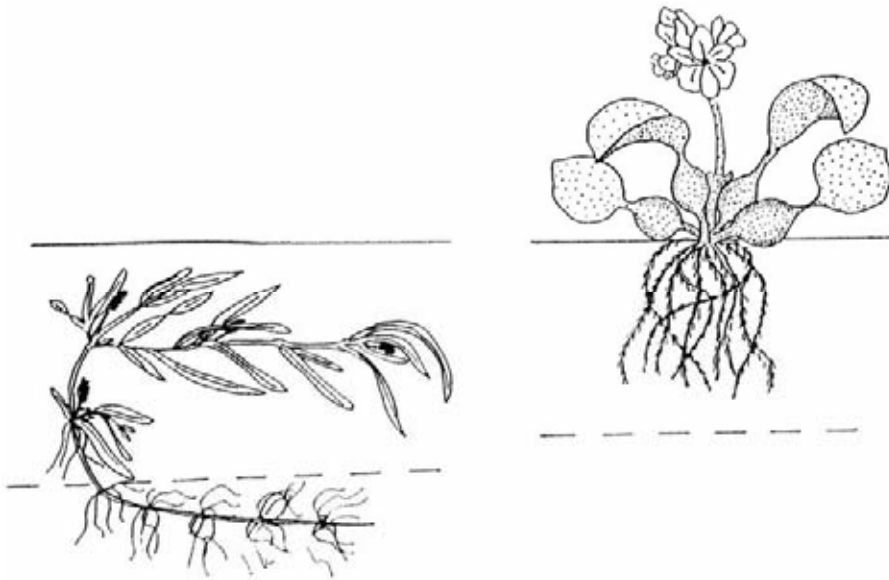


Figura 18. Esquema del cuerpo vegetativo en su hábitat de parvopotámidos (izquierda) y de un eichornido (derecha).

5. DISCUSIÓN

Basándose en los resultados de productividad, se puede afirmar que en la región de Valdivia existe una marcada variabilidad mensual en la producción de biomasa de *Egeria densa* (Carrillo *et al.*, 2006). Además, a cada vértice de mayor productividad, le sigue un mes con un brusco descenso de ella, como sucede por ejemplo, en el mes de noviembre, el de mayor productividad y la que contrasta con aquella del mes de diciembre, que desciende bruscamente. El análisis realizado permite confirmar también que la necromasa de *Egeria densa* sobrepasa su producción de biomasa verde en el mes de Noviembre (primavera) y que la biomasa verde es mayor en Marzo (fines de verano), aunque lo normal sería esperar que la mayor productividad se presente en primavera verano y no en marzo. Estos hechos, bastante desconcertantes, confirman que época primaveral se presenta un fenómeno natural que altera la producción normal de biomasa en *Egeria densa*, lo que provoca la muerte exagerada de biomasa verde (tallos y hojas) recién producidos. Este fenómeno no esperado y cuyas causas son desconocidas, deja en claro que en la época primaveral existe un factor que produce la muerte del Luchecillo (Ramírez *et al.*, 2006).

La producción de biomasa estacional de *Limnobiium laevigatum*, presenta un curso diferente al de *Egeria densa*. En este caso hay un marcado descenso de ella hacia primavera, mientras que en verano se alcanza la más alta productividad. Sin embargo, la necromasa sigue el mismo curso de aquella de *Egeria densa*, es decir, aumenta hacia primavera y vuelve a disminuir en verano, en un recorrido claramente opuesto a la producción de biomasa.

El peso seco estacional de *Limnobiium laevigatum* fue siempre superior al producido por *Egeria densa*, con la única excepción de primavera, cuando esta última alcanzó su valor más alto.

En todo caso, la biomasa total promedio anual de la Hierba guatona fue siempre mayor, a la del Luchecillo. Este hecho otorga una mayor eficiencia y capacidad de competencia a la Hierba guatona y justifica por sí sólo el desplazamiento del Luchecillo. Sin embargo, hay que considerar que *Limnobium laevigatum* estaba restringido a los bañados y cauces de los ríos Pichoy y Cayumapu, mientras que *Egeria densa* se extendía por todo el Santuario del río Cruces, alcanzando a cubrir 23 Km² con un peso total de 3.013.000 Kg (San Martín *et al.*, 2000).

En *Limnobium laevigatum* ocurre un curso estacional bastante coincidente en la biomasa de raíces y biomasa verde, pero se aprecia una anomalía en la distribución estacional de la primera, que alcanza su valor mínimo en primavera, cuando se esperaría que este valor mínimo se presentara en invierno, época más desfavorable. Seguramente esta anomalía tiene que ver con la formación de diásporas vegetativas, que diseminan la planta en esa época. En el caso de *Limnobium laevigatum*, una planta acuática flotante libre, las raíces presentan gran importancia como contrapeso para mantener erguido el cuerpo de la planta (San Martín & Boettcher, 2003). Para *Egeria densa* la biomasa radical no es de mucha importancia por el hecho de que sólo cumple la función de fijación ya que la planta absorbe nutrientes por toda la superficie del cormo (Rubilar, 2002). Lo anterior justifica el recorrido inverso de ambas curvas de necromasa. La biomasa total estacional, en *Egeria densa* alcanza su mayor valor en primavera, lo que en el caso de *Limnobium laevigatum* ocurre en verano, época de mayor productividad (San Martín, 2001).

La relación estacional biomasa/necromasa de *Egeria densa* presenta un mayor valor en invierno, cuando la biomasa y necromasa son menores y por lo tanto, se esperaría que esta relación fuera más baja, por ser esta la estación más desfavorable. *Limnobium laevigatum* presenta una mayor relación en otoño, pero curiosamente, es en verano donde se observa la mayor biomasa y la menor necromasa, en forma similar a *Egeria densa*.

Aún cuando la producción de biomasa es bastante diferente en ambas especies, ambas sufren una fuerte reducción de su cuerpo vegetativo, con un aumento de la necromasa en primavera, lo que indicaría que un mismo factor estaría actuando sobre las dos especies, al provocar la mortalidad de la biomasa que se forma en primavera. Es importante señalar que en la época de primavera se esperaría un rápido aumento de la biomasa, pero que ella sobreviviera hasta la temporada de verano, sin embargo esto no sucede y en la misma forma como se produce la biomasa, va muriendo. En consecuencia, se puede asegurar que la primavera es una época crítica para ambas especies, a pesar de las grandes diferencias que *muestran en su hábito y hábitat*. *Egeria densa* es una planta sumergida, mientras que *Limnobium laevigatum* flota libremente en la superficie del agua.

En la composición química proximal estacional, tanto *Egeria densa* como *Limnobium laevigatum* presentaron altos valores de cenizas. El alto contenido de cenizas es algo común en hidrófitos, por lo que no es recomendable su utilización como planta forrajera debido a su bajo contenido energético (Correa *et al.*, 2003) ya que los altos porcentajes de ceniza que poseen, perjudican su palatabilidad. Además, esta ceniza puede llegar a ser tóxica para los animales (Pinochet *et al.*, 2005).

Un alto valor de proteína cruda es característico en los macrófitos y las dos especies estudiadas así lo confirman. Aún así, el alto porcentaje proteico no favorece a estas plantas acuáticas como forraje, por la falta de algunos aminoácidos esenciales para los animales. El bajo porcentaje de lípidos que presentaron ambas especies, sobre todo en *Egeria densa*, no superó el 1% anual, este hecho es común también en plantas terrestres.

Egeria densa presenta un menor porcentaje de fibra cruda que *Limnobium laevigatum*, lo que coincide con el hecho de que ella no necesita gran cantidad de tejidos de sostén ricos en fibra,

porque el empuje del agua ayuda a sostener su cuerpo susceptible de quebrarse con facilidad (Bowner *et al.*, 1995). Esta baja producción de fibra es común en plantas acuáticas.

En la variación estacional del contenido proximal de peso seco, *Egeria densa* presenta en invierno el mayor valor de ceniza, proteína bruta y extracto etéreo, mientras que *Limnobium laevigatum*, los mayores valores corresponden a materia orgánica e hidratos de carbono. Por el contrario, en verano y otoño *Limnobium laevigatum* produce mas fibra cruda y ceniza. Solo en otoño los hidratos de carbono son favorables para *Egeria densa*. En primavera *Limnobium laevigatum* produce mayor extracto etéreo y proteína bruta. De lo anterior se desprende que existe una clara diferencia entre los contenidos proximales de *Egeria densa* y *Limnobium laevigatum*, que siguen un curso estacionales opuestos.

En el valor calórico de *Egeria densa* es superior al de *Limnobium laevigatum*, que en todo caso, es un porcentaje muy bajo en relación con los valores que presentan las plantas terrestres, debido a la mayor proporción de cenizas que presentan los hidrófilos (Ramírez *et al.*, 1991). Existe una marcada variación con respecto a la energía estacional entre *Egeria densa* y *Limnobium laevigatum*, ya que para la primera este aumenta en otoño y, por el contrario, en *Limnobium laevigatum* disminuye en esa época, para aumentar en invierno y primavera. Este comportamiento tiene relación con el desarrollo de la biomasa y la necesidad de acumular energéticos para las épocas desfavorables (San Martín *et al.*, 1994). Se destaca la energía calórica contenida en los órganos de *Limnobium laevigatum*, ya que el mayor valor calórico aparece en las hojas aéreas, lo que concuerda con el hecho de que en ellas se realiza la fotosíntesis, por lo tanto la producción de energía debe ser mayor.

El mayor valor calórico de *Egeria densa*, le entrega una mayor eficiencia ecológica, la cual seguramente puede ser utilizada para desplazar especies de la misma forma de vida y hábitat

(Ramírez *et al.*, 1979). En la competencia con *Limnobium laevigatum*, el Luchecillo es desplazado principalmente por sombreado.

En *Limnobium laevigatum*, la mayor cantidad de ceniza se concentró en las raíces y la menor en las hojas, esto corresponde al comportamiento normal de los hidrófitos y de plantas terrestres, en cuyas raíces se acumulan minerales. La proteína bruta muestra valores interesantes, especialmente en las hojas, lo que justifica el consumo de ella por aves y mamíferos acuáticos. La fibra cruda es baja en hojas, lo que las hace palatables y digeribles (San Martín & Boettcher, 2002). Los valores más altos se presentan en estolones y raíces.

Limnobium laevigatum completa su ciclo de vida en la región de Valdivia y no así *Egeria densa*, la que por presentar sólo individuos masculinos, se reproduce vegetativamente. *Limnobium laevigatum* se ve favorecido en relación a su fenología ya que puede desarrollar todas las etapas de su ciclo de vida. Esta especie logra su floración y fructificación en la etapa de receso, y se desarrolla vegetativamente en la etapa de crecimiento. En la literatura, se menciona el hecho de que las poblaciones de *Limnobium laevigatum*, no forman semillas (Matthei, 1995). Sin embargo, en este estudio se pudo constatar que en Valdivia sí las forma y que además, ellas son viables.

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados expuestos y discutidos en el capítulo anterior, no es posible asegurar que la mayor productividad de *Limnobium laevigatum* sea la razón de su mayor capacidad de competencia frente a *Egeria densa*, ya que en la menor biomasa producida por esta última, hay un mayor contenido energético, que la hace más competitiva en épocas desfavorables. Por otro lado, en ambas especies se comprobó que en la época primaveral se presenta una situación desfavorable que destruye la biomasa producida, es decir, esta estación es una época de crisis para ambas especies. A lo mejor un aumento en este factor desconocido, provocó la brusca reducción de sus poblaciones constatada en Octubre del 2004. Los resultados confirman el hecho de que en la competencia entre plantas acuáticas es muy importante el hábito o forma del vida del cuerpo vegetativo, el que en el caso de la Hierba guatona, puede flotar y cubrir las plantas sumergidas, lo que le otorga una gran capacidad de competencia frente a *Egeria densa*.

6. LITERATURA CITADA

AOAC. (2000) Official Methods of Analysis of AOAC International, 17° Ed., International, Geithersburg, MD, USA. 69 p.

Arrieché I. & Y. Pacheco (1992) Determinación de Carbono Orgánico en Muestras de Suelos Mediante dos Procedimientos Analíticos. Revista Venezolana Depósito Legal DLPP92-0468 6(1 y 2): 9-13.

Barko, J.W. & M. Smart (1981) Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. Ecol. Monogr. 51: 219-235.

Bowner, K., S.W.L. Jacobs & G.R. Sainty (1995) Identification, Biology and Management of *Eloдея canadensis*, Hydrocharitaceae. Journal Aquatic Plant Management 33: 13-19.

Braga, J., E. Gomez, S. Barreto, M. Esquinazi & M. Grillo (1999) Programa de Controle de Macrófitas Aquáticas no Complexo Hidroelétrico de Paulo Alfonso e Na Uhe Itaparica. Grupo de Estudos de Impactos Ambientais (Gia). Paraná. Brasil. 4 p.

Carrillo, Y., A. Guarín & G. Guillot (2006) Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical High-Mountain reservoir (NEUSA, Colombia). Aquatic Botany 85(1): 7-15.

Cook, C.D.K. (1998) Hydrocharitaceae. En: Kubitzki K., editor. The families and genera of Vascular Plants. New York: Springer Verlag. 234-248.

Cook, C. & K. Urmi-König (1984) A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). Aquatic Botany 19(1-2): 73-96.

Correa, M.R., E.D. Velini & D.P. Arruda (2003) Composicao química e bromatológica de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. Planta Dañina 21: 7-13.

Davis, J., D. Blasco & M. Carbonell (1996) Manual de la Convención Ramsar – Una guía a la convención sobre humedales de importancia internacional. Suiza: Gland. 211 p.

Feijoó, C.S., F.R. Momo, C.A. Bonetto & N.M. Tur (1996) Factors influencing biomass and nutrient content of the submersed macrophyte *Egeria densa* Planch. in a pampasic stream. Hydrobiologia 341(1): 21-26.

Fifield, F.W. (2000) Principles and practice of analytical chemistry. 5^a Ed. London: Blackwell Science. 562 p.

Getsinger, K.D & C.R. Dillon (1984) Quiescence, growth and senescence of *Egeria densa* in Lake Marion. Aquatic Botany 20(3-4): 329-338.

Gunckel, H. (1963) Revisión de las especies de la Familia de las Calitricáceas (Callitricaceae). Bol. Univ. Chile 39: 35-38.

Haramoto, T. & I. Ikusima (1988) Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. Aquatic Botany 30(4): 389-403.

Hauenstein, E. & C. Ramírez, (1986) The influence of salinity on the distribution of *Egeria densa* in The Valdivia river basin, Chile. Archives of Hydrobiologia 107(4): 511-519.

Hauenstein, E., M. González, L. Leiva & L. Falcón (1999) Flora de macrófitos y bioindicadores del lago Budi (IX Región, Chile). Gayana Botánica 56(1): 53-62.

Hauenstein, E., C. Ramírez, M. González, & C. San Martín (1992) Comparación de la flora macrofítica de tres lagos del Centro-Sur de Chile (Budi, Llanquihue y Cayutue). Revista Geográfica de Valparaíso 22/23: 175-193.

Lieth H. & B. Pfanz (1968) The measurement of calorific values of biological material and the determination of ecological efficiency. UNESCO Nat. Resource Symp. Ser. 5: 233-242.

Matthei, O. (1995) Manual de las malezas que crecen en Chile. Alfabeto Impresiones, Santiago. 545 p.

Montaldo, P. (1983) Características climáticas de la ciudad de Valdivia y alrededores. *Agrosur* 11(2): 138-139.

Pelicice, F.M., A.A. Agostinho & S.M. Thomaz (2005) Feeding ecology of fishes associated with *Egeria* in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica* 27: 9-16.

Pinochet, D., C. Ramírez, R. Mac Donald & L. Riedel (2005) Concentraciones de elementos minerales en *Egeria densa* Planch. colectada en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, Valdivia, Chile. *Agro Sur* 32: 80-86.

Ramírez, C. & N. Añazco (1982) Variaciones estacionales en el desarrollo de *Scirpus californicus*, *Typha angustifolia* y *Phragmites communis* en pantanos valdivianos, Chile. *Agro Sur* 10(2): 11-123.

Ramírez, C. & C. San Martín (2006a) Ecosistemas dulciacuícolas. En: CONAMA (ed.): Biodiversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos. Santiago. 21-61.

Ramírez, C. & C. San Martín (2006) Macrófitos. En: CONAMA (ed.): Biodiversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos. Santiago. 364-369.

Ramírez, C. & E. Steigmeier (1982) Formas de Vida en Hidrófitos Chilenos. *Medio Ambiente* 6(1): 43-54.

Ramírez, C., J. Amigo & C. San Martín (2003) Vegetación pratense litoral y dinámica vegetacional antropogénica en Valdivia, Chile. *Agro Sur* 31: 24-37.

Ramírez, C., D. Contreras, & J. San Martín (1986) Distribución geográfica y formas de vida en hidrófitos chilenos. Acta VIII Congreso Nacional de Geografía. Publicación especial. *Inst. Geográfico Militar de Chile* 1: 103-110.

Ramírez, C., R. Godoy & E. Hauenstein (1982) Las especies de luchecillo (*Hydrocharitaceae*) que prosperan en Chile. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 14: 47-55.

Ramírez, C., M. Romero & M. Rivero (1979) Habit, hábitat, origin and geographical, distribution of chilean vascular hydrophytes. *Aquatic Botany* 7: 241-253.

Ramírez, C., C. San Martín & J. San Martín (2004) Colmatación por macrófitos del complejo lacustre Vichuquén (VII Región, Chile) y clave de determinación. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 49: 179-196.

Ramírez, C., E. Carrasco, S. Mariani & N. Palacios (2006) La desaparición del Luchecillo (*Egeria densa*) del Santuario del Río Cruces (Valdivia, Chile): Una Hipótesis Plausible. *Ciencia y Tecnología* 8: 79-86.

Ramírez, C., R. Godoy, D. Contreras & E. Stegmaier (1982) Guía de Plantas Acuáticas y Palustres Valdivianas. Instituto de Botánica. Facultad de Ciencias, U.A.CH., Valdivia, Chile. 42 p.

Ramírez, C., C. San Martín, R. Medina & D. Contreras (1991) Estudio de la flora hidrófila del Santuario de la Naturaleza “Río Cruces” (Valdivia, Chile). *Gayana Botánica* 48(1-4): 67-80.

Roberts, D.E., A.G. Church & S.P. Cummins (1999) Invasión of *Egeria* into the Hawkesbury-Nepal River, Australia. *J. Aquat. Plant Manage.* 37: 31-34.

Rodríguez, R., V. Dellarossa & M. Muñoz (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. Concepción* 58: 141-149.

Rubilar, H. (2002) Estudio de los Humedales Urbanos de la ciudad de Valdivia. Tesis de grupo para optar al título de Licenciado en Ciencias Biológicas. Instituto de Botánica. Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile, Valdivia. 230 p.

Saint John, H. (1961) Monograph of genus *Egeria* Planchon. *Darviniana* 12(2): 293-307.

Saint John, H. (1967) The pistillate flowers of *Egeria densa* Planch. *Darviniana* 14(2-3): 571-573.

Salazar, J. (1989) El Santuario de la Naturaleza Río Cruces. Chile Forestal 160: 16-17.

San Martín, C. (2001) Desarrollo estacional de *Limnobium laevigatum* y su hábitat en Valdivia, Chile. XIII Reunión Anual de la Sociedad de Botánica de Chile. Gayana Botánica 58: 1.

San Martín, C. & C. Boettcher (2002) Composición química y valor calórico en órganos del hidrófito *Limnobium laevigatum*. XLV Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Chile. Puyehue. Biological Research 35 (3-4): 315-446.

San Martín, C. & C. Boettcher (2003) Importancia ecológica de la heterofilia en *L. laevigatum*. XXIX Jornadas Argentinas de Botánica y XV Reunión Anual de la Sociedad de Botánica de Chile. San Luís (Córdoba, Argentina). Bol. Soc. Arg. Botánica 38 (Suplemento): 131-132.

San Martín, C. & C. Boettcher (2004) Importancia ecológica de la heterofilia en *Limnobium laevigatum*. VII Jornada de Investigación Científica, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Resúmenes: 194.

San Martín, C. & C. Boettcher (2005) Colonización, auge y declinación de *Limnobium laevigatum* en el Río Cayumapu (Valdivia, Chile). XXI Congreso Nacional y XI Internacional de Geografía, Santiago. Resúmenes: 46-47.

San Martín, C., D. Contreras, & C. Ramírez (2000) El recurso vegetal del Santuario de la Naturaleza "Carlos Anwandter" (Valdivia, Chile). Revista Geográfica de Valparaíso 31: 225-235.

San Martín, C., C. Ramírez & J. Barrera (1994) Chemical Composition and caloric content of *Aponogeton distachyon* L.f. in Valdivia, Chile. *International Journal of Experimental Botany* 56(12): 133-142.

San Martín, C., C. Ramírez & P. Ojeda (1999) Distribución de Macrófitos y Patrones en la cuenca del río Valdivia, Chile. *Revista Geográfica de Valparaíso* 30: 117-126.

San Martín, C., R. Medina, P. Ojeda & C. Ramírez (1993) La Biodiversidad Vegetacional del Santuario de la Naturaleza “Río Cruces” (Valdivia, Chile). *Acta Botánica Malacitana* 18: 259-279.

Schlatter, R., J. Salazar, A. Villa & J. Meza (1991) Reproductive biology of black-necked Swans *Cygnus melancoryphus* at three Chilean wetland areas and feeding ecology at río Cruces. *Wildfowl Suppl.*1: 268-271.

Stanley, A.N. (1982) Sampling Characteristics of Macrophyte Biomass. *Water Resources Bulletin* 18(3): 521-523.

Steubing, L., R. Godoy & M. Alberdi (2002) *Métodos de Ecología Vegetal*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 345 p.

Steubing, L., C. Ramírez & M. Alberdi (1979) Artenzusammensetzung, Lichtgenuss und Energiegehalt der Krautschicht des valdivianischen Regenwaldes bei St. Martín. *Vegetatio* 39(1): 25-33.

Tanaka, N., H. Setoguchi & J. Murata (1997) Phylogeny of the family Hydrocharitaceae inferred from *rbcL* and *matK* gene sequence data. *J. Plant. Res.* 110: 329-337.

Tanner, C.C., J.S. Clayton & R.D.S. Wells (1993) Effects of suspended solids on the establishment and growth of *Egeria densa*. *Aquatic Botany* 45: 299-310.

Urbaneja G., J. Ferrer, G. Páez, L. Arenas de Moreno, G. Colina & L. Sandoval (1997) Hidrólisis ácida y caracterización de carbohidratos de la pulpa de café. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 14: 265-275.

Watanabe, T. & J. Karzulovic (1960) Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile* 17: 23-64.

Zambrano, J.C. (1980) Formas de propagación en hidrófitos. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 6(1): 610-627.

7. ANEXO



Figura 19. Tallos, hojas y flores de *Egeria densa* (luchecillo).



Figura 20. Banco de *Egeria densa* (luchecillo).



Figura 21. Hojas flotantes, estolones y raíces de *Limnobium laevigatum* (hierba guatona).



Figura 22. “Embalsados” de *Limnobium laevigatum* (hierba guatona).



Figura 23. Fruto de *Limnobium laevigatum*.



Figura 24. Cuenca inferior del río Cayumapu (lugar de muestreo).



Figura 25. Ubicación geográfica del Santuario de la Naturaleza del Río Cruces (área punteada) y Río Cayumapu donde se realizó el muestreo (óvalo en rojo).