

Capítulo 12

Ecofisiología del bosque relicto de *Aextoxicon punctatum* (Olivillo) en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, Coquimbo, Chile.

FRANCISCO A SQUEO, JAIME PIZARRO-ARAYA & SOLANGE VEGA

RESUMEN

Se analizan algunas características ecofisiológicas de *Aextoxicon punctatum* del bosque de Fray Jorge, relacionadas con la capacidad de capturar neblina y de producir materia seca. Se evaluaron las siguientes variables, en situaciones de borde y bajo el dosel de *A. punctatum*: a) ángulo foliar, b) peso específico foliar, c) proporción de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), d) proporción de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y e) cociente carbono / nitrógeno foliar. Las hojas de los árboles localizados en el borde de los bosquetes presentaron mayores ángulos con respecto al horizonte que aquéllas ubicadas bajo dosel (i.e., 67° versus 20°). Los bosquetes de *A. punctatum* ubicados en los sectores con menor abundancia de neblina poseen un mayor ángulo foliar y un mayor peso específico foliar en comparación a los sectores más húmedos. Se plantea que el ángulo foliar se relacionaría con un compromiso entre la captura de neblina (altos ángulos) y luz (bajos ángulos). Se encontró que las hojas de borde presentaron una mayor eficiencia en el uso del agua (i.e., mayor $\delta^{13}\text{C}$) en comparación con las hojas localizadas bajo el dosel, excepto en el sector norte del bosque donde en ambas situaciones (de borde y bajo dosel) muestran alta eficiencia en el uso del agua. Los bosquetes de la zona norte y los ubicados en zonas intervenidas, presentaron un $\delta^{15}\text{N}$ más cercano a cero, en comparación con el resto de los bosquetes, lo cual se puede asociar a una fuente de fijación biológica y/o depositación atmosférica. No se observaron diferencias en el cociente carbono / nitrógeno foliar entre las situaciones de borde y bajo dosel, como tampoco variaciones latitudinales en ésta variable.

Palabras Clave: ángulo foliar, peso específico foliar, isótopos estables, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, eficiencia en el uso del agua, relicto de neblina.

INTRODUCCIÓN

Los bosques relictos de neblina presentan una situación ideal para evaluar las adaptaciones de las plantas a esta inusual fuente de agua. El Parque Nacional Fray Jorge posee la población más septentrional de *Aextoxicon punctatum* Ruiz et Pav. (especie monotípica y endémica de Chile). Este bosque se ubica en los Altos de Talinay, un cordón montañoso costero de la Región de Coquimbo ($30^\circ 38' \text{ S}$), a más de 650 km de su distribución continua asociada al Bosque laurifolio Valdiviano (Philippi 1930). La persistencia de estos bosques relictos estaría determinada por el mesoclima que generan las neblinas costeras en la cima de los cerros de la Región de

Coquimbo. Según Kummerow (1960, 1962), la condensación de la neblina podría superar largamente al agua aportada por las lluvias invernales, alcanzando valores superiores a los 1.000 mm anuales. Sin embargo, a la fecha no se ha descrito el mecanismo de captura del agua de neblina así como sus consecuencias en la estructura del dosel. En una situación topográfica equivalente, la vegetación de lomas que se desarrolla en los cordones montañosos costeros del Desierto de Atacama, se localiza entre los 300 y 900 m (Dillon & Rundel 1990, Muñoz-Schick et al. 2001, Olivares 2003). En Paposo, una localidad ubicada en la cordillera de la costa en el centro del Desierto de Atacama, Olivares (2003) mostró que todas las especies de arbustos y cactáceas que habitan a los 700 msnm poseen un sistema radicular superficial y que la composición isotópica del agua del xilema era similar a la proveniente de neblina.

Estos bosques de *A. punctatum* ubicados en el Norte Centro de Chile son considerados remanentes de épocas geológicas con climas más mésicos (Pérez & Villagrán 1994). Su actual aislamiento sería una consecuencia de los cambios climáticos, y de las variaciones del nivel del mar ocurrido durante los ciclos glacial-interglaciales del Cuaternario. La hipótesis más conocida plantea que este bosque sería un remanente de un bosque continuo que dominó Chile Central y Sur durante el Pleistoceno, hasta el fin de la última glaciación (Looser 1935, Muñoz & Pisano 1947, Skottsberg 1948, Wolffhügel 1949, Troncoso et al. 1980, Villagrán & Armesto 1980, Capítulo 1).

Según Bruggen (1950), durante el Plioceno hubo una trasgresión marina en casi toda la costa chilena y a fines del Plioceno superior, el mar aún no se había retirado del sector Altos de Talinay, por lo que durante este periodo debieron haber sido islas alargadas que se anteponian a un extenso golfo. Posteriormente se unieron al continente por la sedimentación y solevantamiento ocurrido en el Pleistoceno. Paskoff (1970) señala que el cordón montañoso Altos de Talinay se hallaba emergido durante el Plioceno inferior y fue invadido progresivamente por el océano durante el Plioceno medio, esta trasgresión alcanzó su máximo durante el Plioceno superior, dejando los Altos de Talinay sumergidos. A partir del cuaternario antiguo, el océano retrocede y vuelve a aflorar permaneciendo emergido desde entonces. Trasgresiones posteriores de menor importancia habrían labrado las terrazas litorales. Dichos antecedentes indican que la comunidad tipo Bosque de Fray Jorge habría ocupado un área mayor que la actual en tiempos pasados, como lo atestigua la relativa cercanía y actual estructura florística de los remanentes boscosos descritos para la costa del Norte Chico y Chile Central, considerando al Bosque de Fray Jorge la comunidad de mayor complejidad, en lo referente a estructura florística (Philippi 1930) y ecosistémica de todas las comunidades relictuales conocidas a la fecha (Troncoso et al. 1980, Pérez & Villagrán 1994, Squeo et al. 2004, Capítulo 1).

Dentro del bosque de Fray Jorge, la disponibilidad de agua y diferencia de humedad determina dos asociaciones vegetales básicas: en los sectores de mayor humedad, al abrigo de la constante condensación de la neblina esta la asociación *Aextoxicon punctatum* - *Drimys winteri*, mientras que en el sector norte y más seco del bosque se encuentra la asociación *Aextoxicon punctatum* - *Myrceugenia correifolia* (Muñoz & Pisano 1947, Squeo et al. 2004, en prensa).

El objetivo de este trabajo es analizar algunos parámetros ecofisiológicos de *Aextoxicon punctatum* relacionados con la capacidad de capturar neblina y de producir materia seca en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Este ecosistema tan

particular permite evaluar las diferencias ecofisiológicas asociadas a la captura de neblina y utilización del agua, y el efecto de la fragmentación del bosque. En particular resulta interesante contrastar las respuestas que resultan de (a) las diferentes condiciones de evapotranspiración en las situaciones de borde y bajo el dosel de *A. punctatum* y (b) las diferencias de disponibilidad de neblina entre los sectores norte y sur del bosque.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes y localización del Sitio de Estudio

El estudio se realizó en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge ($30^{\circ}38'S - 71^{\circ}40'O$), localizado en la comuna de Ovalle, Provincia de Limarí, IV Región de Coquimbo, a 110 km al Sur de la ciudad de La Serena. Topográficamente, el área del Parque presenta al este del cordón de cerros costeros un desarrollo de quebradas semiáridas, mientras que al oeste se extiende una terraza marina que limita con el Océano Pacífico. El bosque se ubica entre los $30^{\circ}37'10''$ y $30^{\circ}42'20''S$, abarcando una distancia de 9,7 km por la cima del cordón montañoso a una elevación de entre 350 y 660 msnm (Fig. 1).

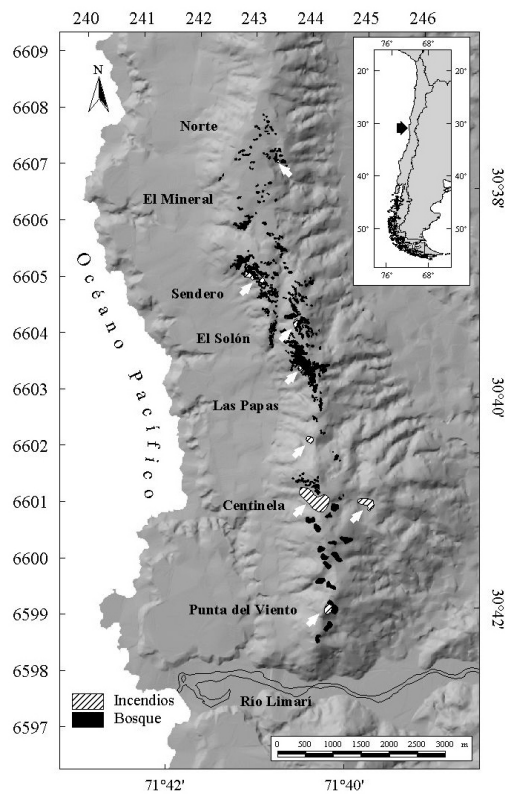


Fig. 1.- Localización del bosque de Olivillo en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Ubicación de incendios basado en Squeo et al. (en prensa, Capítulo 9). A la izquierda (latitud N) y arriba (longitud E) en UTM (km), a la derecha (latitud S) y abajo (longitud O) en grados.

El clima es mediterráneo semiárido, con una precipitación promedio anual de 85 mm (promedio últimos 30 años, Gutiérrez et al. 1997). El 90% de las precipitaciones ocurren durante los meses de invierno (Mayo - Septiembre). Los meses de verano son calurosos y secos, pero la niebla marina contribuye con humedad adicional (Kummerow 1966). La temperatura media máxima en el mes más caluroso (Enero) es de 24°C, y la temperatura media mínima en el mes de más frío (Julio) es de 4°C (ver Capítulo 2). Los patrones de precipitaciones en la región muestran una periodicidad de aproximadamente 3-4 años, donde un año muy lluvioso es seguido por 2-3 años de lluvias bajas (Squeo et al. 1999).

En el catastro pluviométrico de los últimos diez años del Parque, se pueden diferenciar años normales, años secos y años con precipitaciones superiores a 200 mm (Capítulo 2). Los eventos de alta pluviosidad a lo largo de la costa del Pacífico han sido asociados al fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) (Dillon & Rundel 1990, Squeo et al. 1999). Este fenómeno se produce por el retorno de aguas cálidas del trópico occidental causado por un debilitamiento de los vientos alisios, lo que provoca la llegada de una corriente tibia a la costa chilena que determina la elevación de la temperatura de las aguas del Pacífico. Aunque Dillon & Rundel (1990) proponen un aumento de las neblinas en los años El Niño, el efecto de ENOS sobre las neblinas aún es incierta.

El bosque de Fray Jorge se caracteriza por la presencia de *Aextoxicon punctatum* (Olivillo), *Myrceugenia correifolia* (Petrillo), *Drimys winteri* (Canelo), *Azara microphylla* (Arrayán, Chin-chin), *Rhaphithamnus spinosus* (Arrayán macho, Huayún), *Griselinia scandens* (Yelmo) y *Ribes punctatum* (Zarzaparrilla) (Gajardo 1994, Squeo et al. en prensa). La flora vascular está compuesta por 139 especies (Arancio et al. en prensa, Capítulo 10).

Squeo et al. (Capítulo 9) registró evidencias de incendios forestales antiguos (Fig. 1). La mayor parte de los incendios (15 focos) se ubica en la zona centro - sur del Bosque. El sector de Las Papas evidencia antiguos cultivos en un área aproximada de 1,5 hectáreas (Squeo et al. en prensa). Según Fuentes & Torres (1991) se habrían desarrollado cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y trigo (*Triticum aestivum*) hasta la década de 1970.

Metodología

El muestreo de terreno se realizó entre diciembre de 1998 y marzo de 1999. Se establecieron 127 estaciones que cubrieron toda la distribución latitudinal de *A. punctatum* en el Bosque de Fray Jorge. En cada estación se consideró las situaciones de borde y bajo el dosel de *A. punctatum*, en donde se evaluaron los siguientes parámetros:

a) ángulo foliar (grados con respecto al horizonte). Los ángulos foliares se determinaron utilizando un clinómetro; se utilizaron 5 réplicas por situación.

b) peso específico foliar (peso seco hoja / área hoja, en g / cm²). Se determinó el área foliar de tres muestras por situación utilizando un medidor de área foliar (CI-203 Area meter, Cid Inc.). El peso seco se obtuvo de las muestras secadas a 70°C por 48 horas o hasta alcanzar peso estable.

c) análisis isotópicos. Muestras del material foliar se analizaron en el SIRFER (University of Utah), en donde se determinó la proporción de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ PDB, ‰) y de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$ AIR, ‰) (ver detalles en Squeo & Ehleringer 2004), y el cociente carbono / nitrógeno.

RESULTADOS

Ángulo Foliar

Las hojas de *Aextoxicon punctatum* localizadas en el borde de los bosquetes presentaron consistentemente un mayor ángulo foliar en comparación a la situación bajo dosel (i.e., $67^\circ \pm 1^\circ$ versus $20^\circ \pm 1^\circ$, $t = 35,9$, $p < 0,001$) (Fig. 2a). Los ángulos foliares bajos se presentaron asociados a los bosquetes más densos ubicados en las UTM 6604 (El Solón) y máximos en los bosquetes extremos desde las UTM 6605 a 6608 (sector Norte - El Mineral) y al sur de la UTM 6599 (Punta del Viento), y en sectores alterados por fuego / cultivo, sector Cerro Centinela y Las Papas (UTM 6600 a 6602).

La relación ángulo foliar bajo dosel / borde (Fig. 2b) muestra una tendencia a aumentar los valores en las zonas alteradas y con menor abundancia de neblina. Al norte de la UTM 6605 la relación cambia desde 0,2 a 0,8; en Las Papas (UTM 6602 - 6601) presenta un máximo de 0,5 y al sur del Centinela, hacia el sector Punta del Viento (UTM 6600) vuelve a aumentar desde 0,1 a 0,55. El aumento de la relación ángulo foliar bajo dosel / borde es explicado por un aumento del ángulo de las hojas bajo dosel.

Peso específico foliar

Una medida de la esclerofilia es el cociente entre el peso de la hoja y el área foliar (peso específico foliar). Este parámetro fue mayor en los bosquetes con menor captura de neblina y en la situación de borde (sector Norte), en comparación a los bosquetes más húmedos y en las hojas bajo dosel (sector centro - sur), respectivamente (Fig. 3a). Las mayores diferencias en los valores de esclerofilia entre las hojas bajo dosel y borde se ubicaron en Las Papas hasta el norte del Cerro Centinela (UTM 6601-6603), un sector alterado por fuego, cultivo, y posiblemente extracción de madera. Al comparar el peso específico foliar entre hojas de borde y bajo dosel se encontró que la mayoría de los bosquetes presenta valores mayores a 1,0 siendo significativamente más esclerófilas las hojas de borde que las ubicadas bajo dosel (Fig. 3b).

Proporción de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

El $\delta^{13}\text{C}$ foliar es un indicador de la eficiencia en el uso del agua (EUA) a largo plazo. A mayor valor de $\delta^{13}\text{C}$, mayor EUA. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de las hojas de *A. punctatum* se encuentra entre -32 y -26 ‰ lo que representa un amplio rango de EUA (Fig. 4a). Los mayores valores de $\delta^{13}\text{C}$ se localizan al norte de la UTM 6605 (El Mineral - sector Norte). Al comparar bosquetes individuales, las hojas de borde presentan siempre $\delta^{13}\text{C}$ mayores que las hojas bajo dosel. Las menores diferencias se localizan en las zona norte del Bosque y las mayores en la zona centro - sur (Fig. 4b).

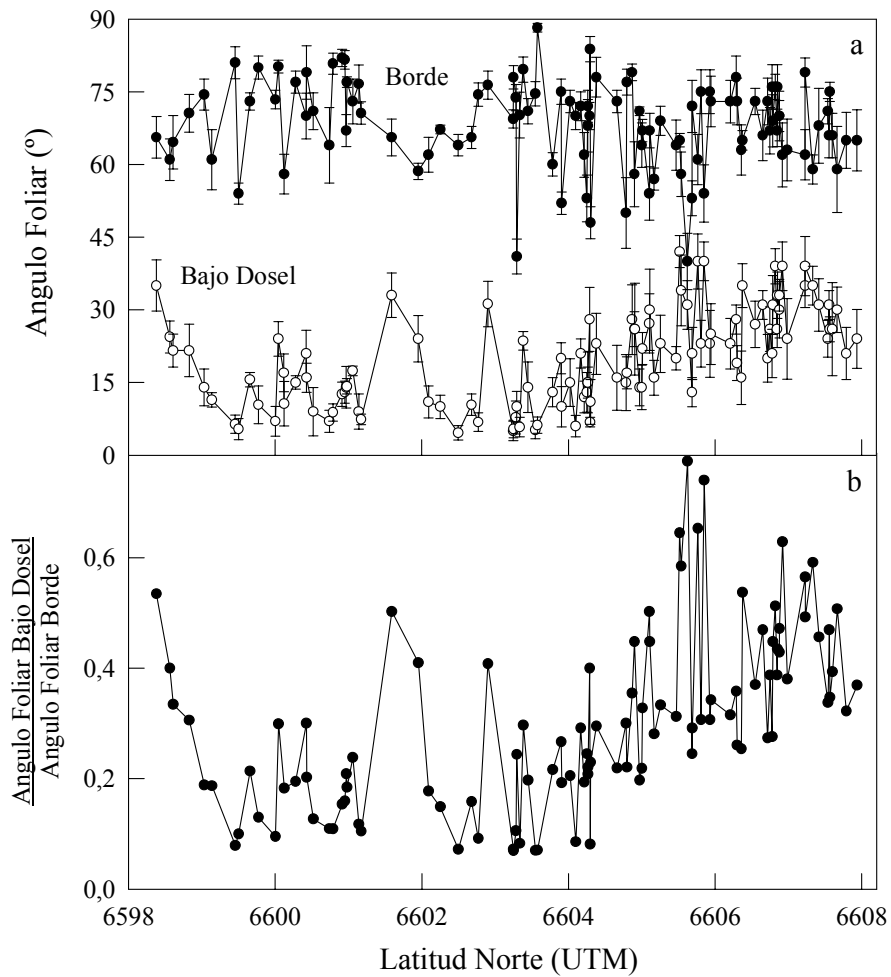


Fig. 2. Variación latitudinal (a) del ángulo foliar en las situaciones de borde y bajo dosel y (b) en la relación ángulo foliar bajo dosel / borde de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

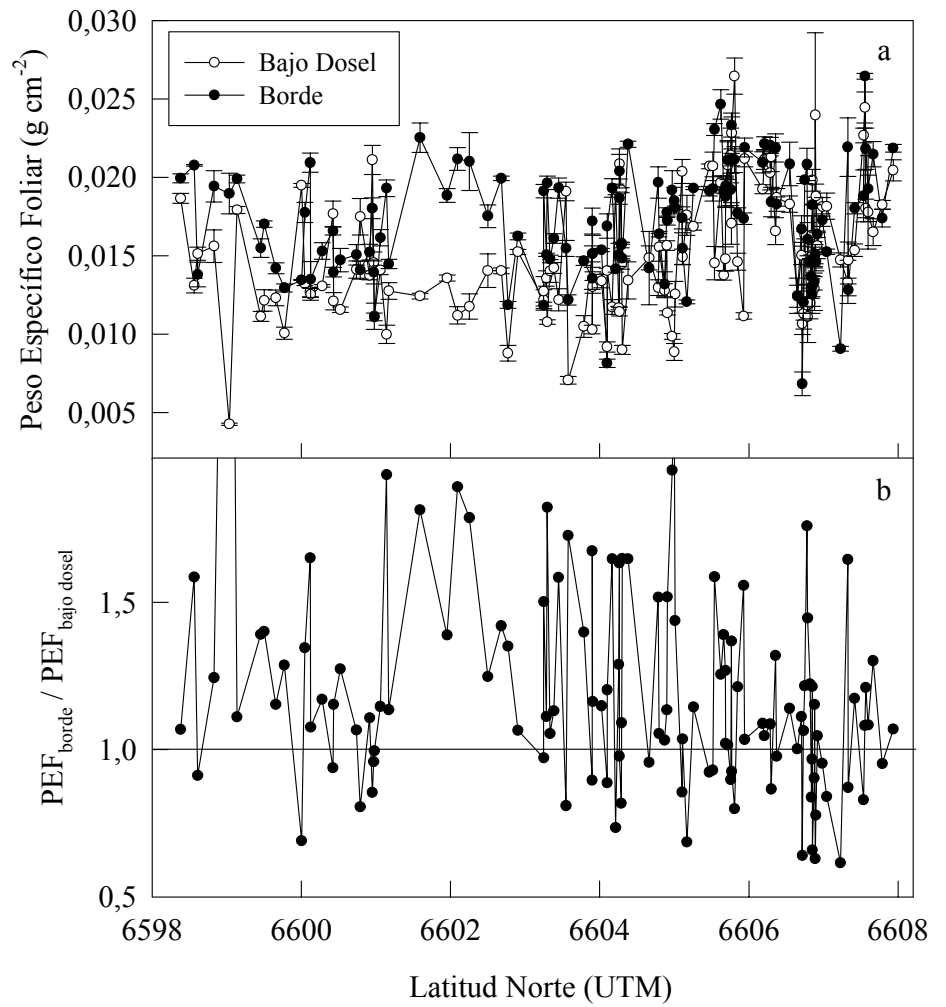


Fig. 3. Variación latitudinal (a) del peso específico foliar (g cm^{-2}) en las situaciones de borde y bajo dosel y (b) en el cociente Peso específico foliar borde / bajo dosel de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

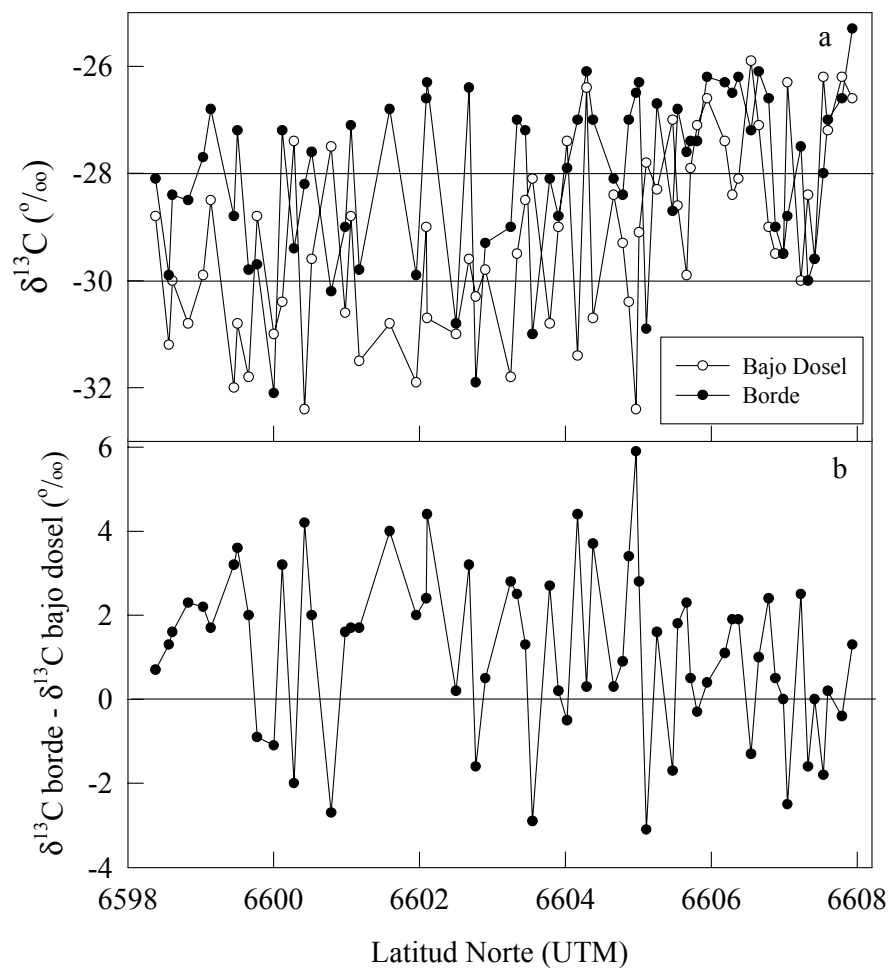


Fig. 4. Variación latitudinal (a) de la proporción de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$, ‰) y (b) en la diferencia entre $\delta^{13}\text{C}$ borde y $\delta^{13}\text{C}$ bajo dose de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

Se encontró una correlación positiva entre $\delta^{13}\text{C}$ y el ángulo foliar en las hojas bajo dosel ($p = 0,026$), mostrando una mayor eficiencia en el uso del agua en las hojas con mayor ángulo foliar (Fig. 5). Esta relación no es significativa para las hojas de borde.

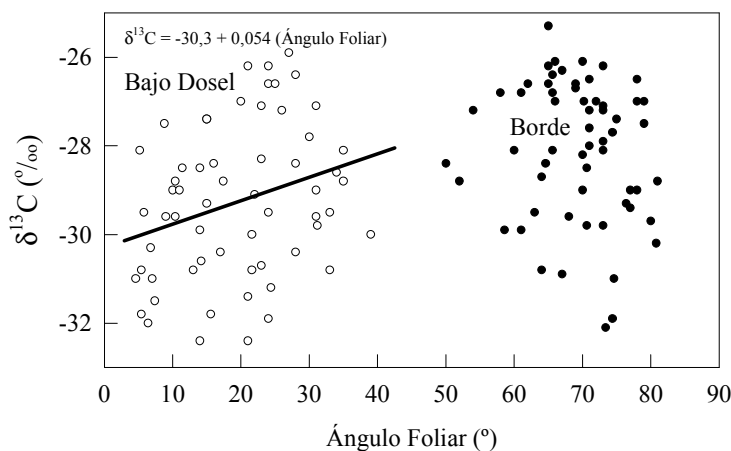


Fig. 5. Relación entre la $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y el ángulo foliar de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

Cuociente carbono / nitrógeno foliar

El cuociente entre el carbono y el nitrógeno foliar (C/N), un índice bioquímico de esclerofilia, presentó la mayoría de sus valores entre 40 y 60, consistentes con una especie siempre verde (Fig. 6a). No se observan variaciones latitudinales en este parámetro. La diferencia entre C/N de las hojas de borde y bajo el dosel de *A. punctatum* no superan en la mayoría de los casos las 15 unidades, y no se observa una tendencia latitudinal clara (Fig. 6b).

Proporción de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

La $\delta^{15}\text{N}$ es un buen marcador natural de las fuentes de nitrógeno utilizadas por las plantas. Valores más cercanos a cero pueden asociarse a una fuente de deposición atmosférica y/o fijación biológica. En Fray Jorge, los bosquetes más norteños y los de zonas intervenidas ubicada en la UTM 6603 presentaron un $\delta^{15}\text{N}$ más cercano a cero en comparación al resto de los bosquetes (Fig. 7a).

Cerca del 62% de los bosquetes estudiados presenta un $\delta^{15}\text{N}$ mayor en sus hojas de borde en comparación con las de bajo dosel (Fig. 7b).

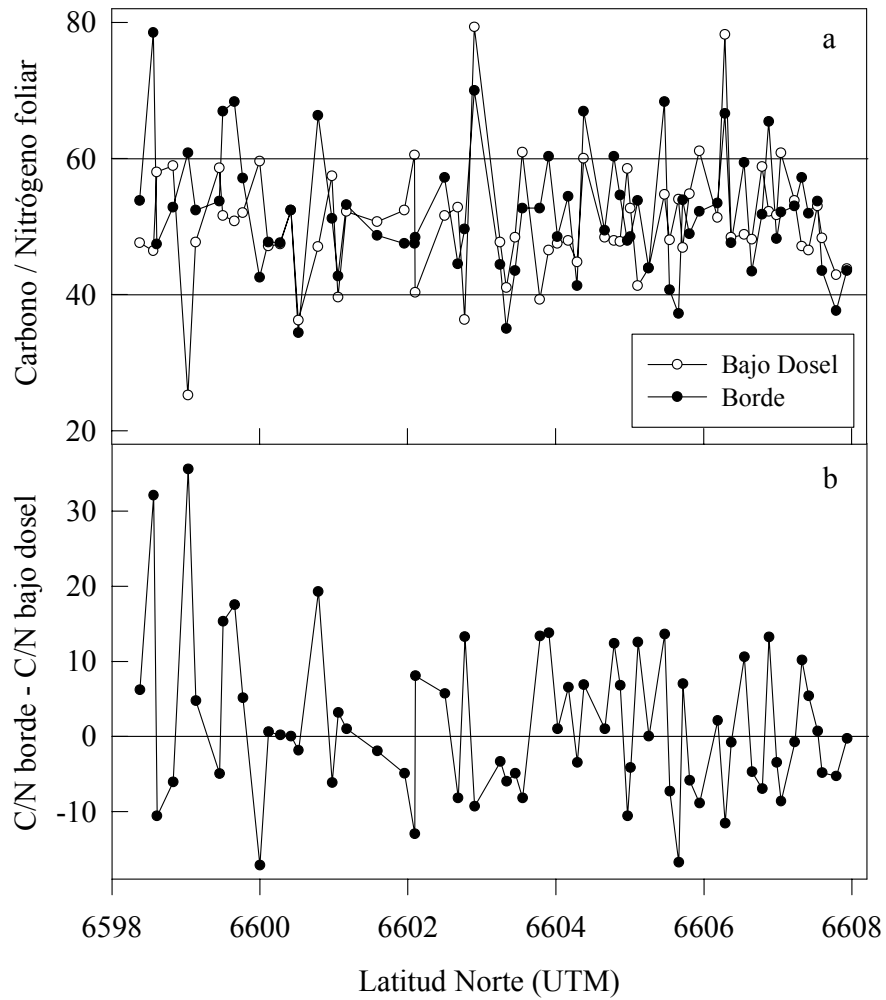


Fig. 6. Variación latitudinal (a) del cociente carbono / nitrógeno foliar (C/N) y (b) de la diferencia entre C/N_{borde} y $C/N_{\text{bajo dosel}}$ de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

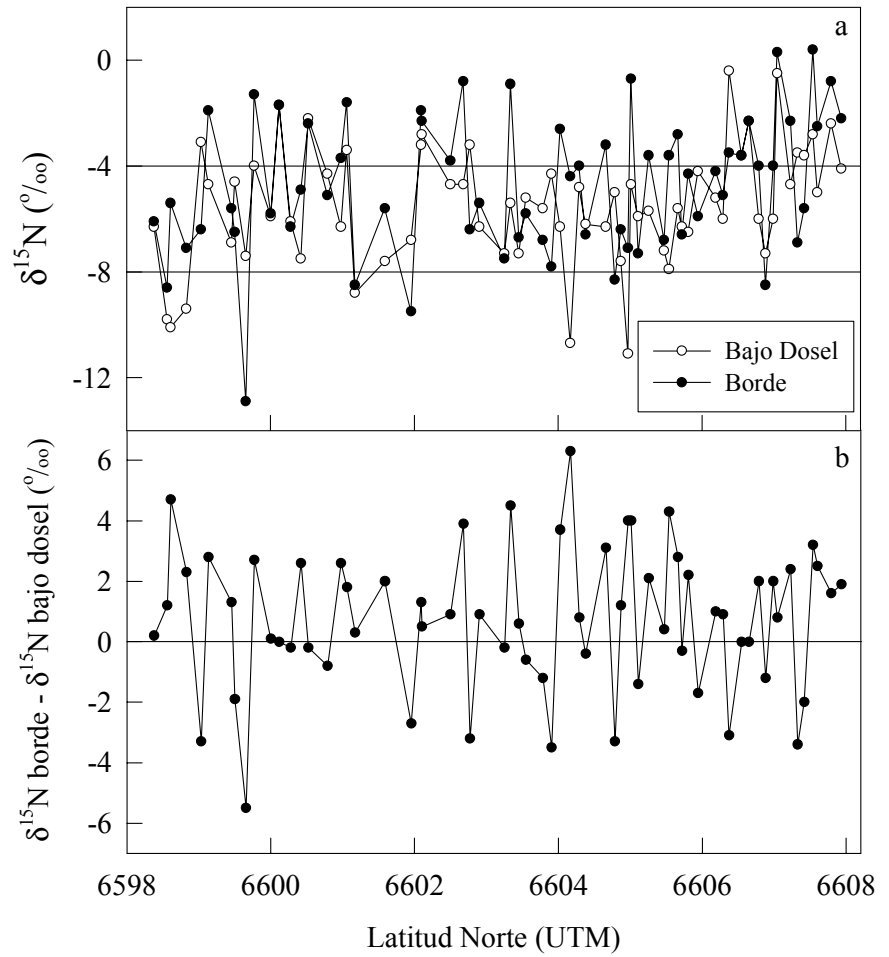


Fig. 7. Variación latitudinal (a) de la proporción de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$, ‰) y (b) de la diferencia entre $\delta^{15}\text{N}_{\text{borde}}$ y $\delta^{15}\text{N}_{\text{bajo dosel}}$ de *Aextoxicon punctatum* en el P.N. Bosque Fray Jorge.

DISCUSIÓN

Características generales del Bosque

Los requerimientos hídricos de las dos asociaciones vegetacionales propuesta por Muñoz y Pisano (1947), coincide con las tendencias latitudinales en los parámetros ecofisiológicos de *Aextoxicon punctatum* mostradas en este trabajo. Squeo et al. (Capítulo 9) muestra que *Drimys winteri*, una especie más higrófila que *Aextoxicon punctatum*, sólo está presente en el 34% de las estaciones de muestreo, concentrándose entre El Sendero y El Cerro Centinela. Los bosquetes de *A. punctatum* del sector Norte (asociación *Aextoxicon - Myrceugenia* de Muñoz y Pisano (1947)), presentan altos ángulos foliares, un mayor grado de esclerofilia y alta eficiencia en el uso del agua, que ponen de manifiesto un mesoclima más xerofítico. A diferencia de lo anterior, los bosquetes del sector centro - sur (asociación *Aextoxicon - Drimys* de Muñoz y Pisano (1947)) presentan bajos ángulos foliares, menor esclerofilia y baja eficiencia en el uso del agua, lo que coincide con un mesoclima más mesofítico. Una excepción a este patrón son los bosquetes ubicados en las zonas alteradas por fuego/cultivo. Alberdi & Oyarse (1976) muestran que *A. punctatum* posee tricomas estrellados muertos en el envés de la hoja que limitan el contacto del aire circundante con los estomas, lo que puede ser considerado como una característica xerofítica complementaria de esta especie.

Borde v/s Bajo Dosel

En la periferia de los bosquetes, *A. punctatum* presenta ángulos foliares elevados que resultan en una reducción de la radiación incidente, y con ello en una reducción de la sobrecarga energética de la hoja, lo que tendría como consecuencia una menor tasa de evapotranspiración (Squeo et al. 1994). Una ventaja adicional de altos ángulos foliares, es decir hojas perpendiculares al movimiento de la neblina, es que aumentaría la captación de agua.

Dentro de los bosquetes, *A. punctatum* presenta bajos ángulos foliares, que se relacionaría con la necesidad de capturar la baja cantidad de radiación fotosintéticamente activa presente en el sotobosque. Mediciones de fotosíntesis realizados en *A. punctatum* bajo dosel, muestra que la radiación está cerca del punto de compensación lumínica, siendo claramente limitante para la ganancia de carbono (Squeo, datos no publicados).

La relación positiva encontrada entre $\delta^{13}\text{C}$ y ángulos foliares en la situación bajo dosel, sugiere que también dentro de los bosquetes estaría operando un mecanismo de regulación de la carga energética y/o captura de neblina.

La disponibilidad hídrica no es homogénea en todo el bosque. Encontramos mayor esclerofilia y mayor EUA, en la zona norte que coincidiría con el área de menor disponibilidad de neblina (Cruzat en prensa). Este mismo patrón de déficit hídrico, se observa en las zonas alteradas (entre Las Papas y norte del Cerro Centinela), donde también existe la mayor diferencia en la EUA entre bajo dosel y borde. En este caso, postulamos que la desestructuración del bosque redujo el potencial máximo de captura de neblina, al disminuir la cobertura de *A. punctatum*. En la zona norte, el nivel de déficit hídrico parece ser comparable en las situaciones de borde y bajo dosel. La ausencia de *D. winteri* y otras especies higrófilas en estos bosquetes (Squeo et al. en prensa, Capítulo 9) confirmaría estos resultados. Otras

especies presentes en el Bosque Fray Jorge podrían presentar un patrón semejante al mostrado por *A. punctatum*. La posición preferencial de *Griselinia scandens* en los bordes podría resultar en una mayor captura de neblina contribuyendo a la mantención del balance hídrico de este ecosistema.

La ausencia de diferencias latitudinales en el cociente C/N dentro del Bosque de Fray Jorge, coincide con lo informado por Pérez (1994) para esta variable a lo largo de todo el gradiente de distribución de *A. punctatum* en Chile.

Las diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ entre diferentes individuos pueden ser interpretadas como la existencia de distintas fuentes de nitrógeno (Evans & Ehleringer 1994). Las diferencias latitudinales mostradas en este trabajo pueden ser explicadas por una exposición a la deposición atmosférica diferencial entre los bosquetes y eventualmente a la fijación biológica por cianobacterias localizadas en los líquenes epífitos y/o costras microfiticas. El mismo argumento permitiría explicar la mayor incidencia $\delta^{15}\text{N}$ más cercanos a cero en las hojas expuestas a la neblina (i.e., de borde) en comparación a las hojas bajo dosel. Estos aspectos deben ser estudiado en más detalle.

Efectos de la Fragmentación – Medidas para la Restauración

La capacidad de capturar agua de neblina que posee *A. punctatum* lo convierte en la especie clave que estructura el bosque de Fray Jorge. Gajardo et al. (1984) describe este fenómeno diciendo que “la existencia del bosque depende de la presencia del bosque”, indicando que es el dosel arbóreo presente el que intercepta y condensa las neblinas. Las condiciones de altitud, pendiente y velocidad de movimiento de las corrientes de aire que transportan la neblina difieren a lo largo del bosque (Cruzat en prensa). Squeo et al. (Capítulo 9) muestran que la zona al norte de la UTM 6605 (El Mineral y sector Norte) presenta una disponibilidad significativamente menor de neblina que se traduce en la ausencia de las especies más higrófilas, incluido *Drimys winteri*, y determina la existencia de la formación *Aextoxicon – Myrceugenia*. Por otro lado, la fragmentación del bosque producto de incendios y/o despeje para cultivos que se evidencia entre Las Papas y el norte del Cerro Centinela, y que destruyeron la capacidad de capturar agua, explican la presencia de esta misma asociación más xérica del bosque (Capítulo 9), y resultan en una respuesta ecofisiológica similar a la presentada al norte de la UTM 6605. Es decir, el bosque remanente de *A. punctatum* que se desarrolla en estos sectores alterados presenta un mayor ángulo foliar, mayor esclerofilia y alta eficiencia en el uso del agua en comparación con bosques no perturbados del Centinela y El Solón.

Por otro lado, en los sectores con mayores condiciones para la captura de neblina se desarrolla la asociación *Aextoxicon – Drimys*. Squeo et al. (Capítulo 9) concluyen que el bosque de Fray Jorge es una comunidad vegetal heterogénea, producto de las diferencias en la disponibilidad neblina y de la capacidad del bosque para capturarla. Junto con los factores físicos (e.g., pendiente, altitud, existencia de un valle seco posterior que genere succión de la neblina), la perturbación humana pasada (e.g., ganadería, incendios, tala de árboles) parece haber jugado un rol en la actual heterogeneidad.

En base a los antecedentes analizados, la zona con mayor potencialidad de expansión del bosque se localiza alrededor de la UTM 6601, donde hay una mayor disponibilidad de neblina. Los esfuerzos para recuperar el equilibrio de este bosque

relictos deberían estar concentrados en facilitar la capacidad de captura de neblina mediante la forestación con *Aextoxicon punctatum*. Sin embargo, la mantención de la biodiversidad vegetal también debe considerar un programa urgente de propagación de las especies más raras del bosque, las que presentan problemas de conservación (Squeo et al. 2001, Capítulo 10).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está basado en el seminario de título de Pedagogía en Biología de S. Vega y J. Pizarro. Muchas gracias a Eric Ibacache y Nelson Hichins por su apoyo en el laboratorio, a Gina Arancio por su colaboración en terreno. Agradecemos el apoyo logístico de la Corporación Nacional Forestal, en especial a Rodrigo Hernández, Eugenio Ruiz (administrador del P.N. Bosque Fray Jorge) y Pedro Carvajal (guardaparque), y del Observatorio Inter-Americano Cerro Tololo. A James R. Ehleringer, Craig Cook y C.F. Kitty (SIRFER, Univ. of Utah, USA) por el apoyo en el análisis isotópico. El presente trabajo se encuentra dentro del programa a largo plazo tendiente a la recuperación del Bosque hidrófilo del Parque Nacional y Reserva Mundial de la Biosfera Bosque Fray Jorge. Financiamiento Proyecto FNDR (BIP 20092545-0) (GORE-IV Región, CONAF). Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

LITERATURA CITADA

- ALBERDI M & G OYERSE (1976) Morfología y ecofisiología de hojas de sol y de sombra de *Aextoxicon punctatum* R. et Pav. Medio Ambiente 2: 35-43.
- ARANCIO G, P JARA & FA SQUEO (en prensa) Caracterización de las plantas vasculares de la cima del Parque Nacional Fray Jorge. Revistas de Ciencias Forestales.
- BRUGGEN J (1950) Fundamentos de Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar, 2ª Edición Santiago, Chile 510.
- CRUZAT A (en prensa) Producción de neblina en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Revista de Ciencias Forestales.
- DILLON MO & PW RUNDEL (1990) The botanical responses of the Atacama and Peruvian desert floras to the 1982 - 1983 El Niño event. En: PW Glynn (ed) Global Ecological Consequences of the 1982 - 83 El Niño - Southern Oscillation (1989). Elsevier Oceanographic Series 52, Amsterdam, pp. 487-504.
- EVANS RD & JR ELHERINGER (1994) Plant $\delta^{15}\text{N}$ values along a fog gradient in the Atacama Desert, Chile. Journal Arid Environments 28: 189-193.
- FUENTES JA & ME TORRES (1991) Estudio Histórico Evolutivo de la Interacción del Hombre del Semiárido en una Región del Norte Chico Fray Jorge Reserva Mundial de la Biosfera. Tesis de Licenciado en Educación en Historia y Geografía. Universidad de La Serena.
- GAJARDO R (1994) La vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica, Editorial Universitaria, Santiago. 165 pp.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, SH HERRERA, LC CONTRERAS & FM JAKSIC (1997) Effects of small mammals and vertebrate predators on vegetation in the Chilean semiarid zone. Oecologia 109: 398-406.
- KUMMEROW J (1960) La extraña vegetación del Parque Nacional Fray Jorge y su importancia en la investigación biológica. Universidad de Chile. Facultad de Agronomía, Boletín Universidad de Chile 11: 37-38.
- KUMMEROW J (1962) Mediciones cuantitativas de la neblina en el Parque

- Nacional Fray Jorge. Boletín Universidad de Chile 28: 36-37.
- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del bosque Fray Jorge. Universidad de Chile. Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agronómica, Boletín Técnico 24: 21-24.
- LOOSER G (1935) Argumentos botánicos a favor de un cambio de clima en Chile central en tiempos geológicos recientes. Revista Universitaria 20: 843-857.
- MUÑOZ C & E PISANO (1947) Estudio de la vegetación y flora de los Parques Nacionales de Fray Jorge y Talinai. Apartado agricultura Técnica Chile 7: 71-190.
- MUÑOZ-SCHICK M, R PINTO, A MESA & A MOREIRA-MUÑOZ (2001) "Oasis de neblina" en los cerros costeros del sur de Iquique, región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-1998. Revista Chilena de Historia Natural 74: 389-405.
- OLIVARES N (2003) Sistemas radicales en especies arbustivas del desierto de Atacama: Paposo (25°S) y Romeral (30°S). Tesis Magíster en Ciencias Biológicas mención Ecosistemas Áridos, Universidad de La Serena.
- PASKOFF R (1970) Recherches géomorphologiques dans le Chili semiaride. Biscaye Frères Imp. Bordeaux. 420pp.
- PHILIPPI F (1930) Una visita al bosque más boreal de Chile. Boletín Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 13: 96-109.
- PÉREZ C & C VILLAGRÁN (1994) Influencia del clima en el cambio florístico, vegetacional y edáfico de los bosques de "olivillo" (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) de la cordillera de la Costa de Chile: implicancias biogeográficas. Revista Chilena de Historia Natural 67:77- 90.
- PÉREZ C (1994) Índices de esclerofilia en relación a la calidad química de la hojarasca y al grado de mineralización potencial del nitrógeno del suelo superficial del bosque de "olivillo" (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) Revista Chilena de Historia Natural 67: 113-109.
- SKOTTSBERG C (1948) Apuntes sobre la flora y vegetación de Fray Jorge, Chile. Meddelanden from Góteborgs Botaniska Trádgard 18:91-184.
- SQUEO FA & JR EHLERINGER (2004) Isótopos Estables: una Herramienta Común para la Ecofisiología Vegetal y Animal. En: HM Cabrera (ed) Ecofisiología en Plantas. Ediciones Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- SQUEO FA, JR EHLERINGER, NC OLIVARES & G ARANCIO (1994) Variación en los componentes del balance de energía a nivel foliar de *Encelia canescens* a lo largo de un gradiente de precipitación en el Norte Centro de Chile. Revista chilena de Historia Natural 67: 143-155.
- SQUEO FA, N OLIVARES, S OLIVARES, A POLLASTRI, E AGUIRRE, R ARAVENA, C JORQUERA & JR EHLERINGER (1999) Grupos funcionales en arbustos desérticos definidos en base a las fuentes de agua utilizadas. Gayana Botanica 56: 1-15
- SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (2001) Libro Rojo de la Flora Nativa de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. Ediciones de la Universidad de La Serena, La Serena. 388pp.
- SQUEO FA, GA ARANCIO & JE NOVOA (2004) Distribución espacial y caracterización florística del bosque relicto de Fray Jorge, IV Región de Coquimbo. En: C Smith-Ramírez, JJ Armesto & C Valdovinos (eds) Biodiversidad y Ecología de los bosques de la Cordillera de la Costa de Chile. Editorial Universitaria, Santiago.
- SQUEO FA, GA ARANCIO, J PIZARRO-ARAYA, S VEGA, JE NOVOA & JM VIADA (en prensa) Caracterización florística del Bosque de Fray Jorge: ¿Cuan Homogéneo es el Bosque?. Revista de Ciencias Forestales.

- TRONCOSO A, C VILLAGRÁN & M MUÑOZ (1980) Una nueva hipótesis acerca del origen y edad del bosque de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). Boletín Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 37: 117-152.
- VILLAGRÁN C & JJ ARMESTO (1980) Relaciones florísticas entre las comunidades relictuales del Norte Chico y la Zona Central con el bosque del Sur de Chile. Boletín Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 37: 85-99.
- WOLFFHÜGEL K. (1949) Rätsel der Notohylaea. Revista Sudamericana de Botánica 8: 45-58.