

REVISTA  
DEL JARDÍN  
BOTÁNICO  
CHAGUAL

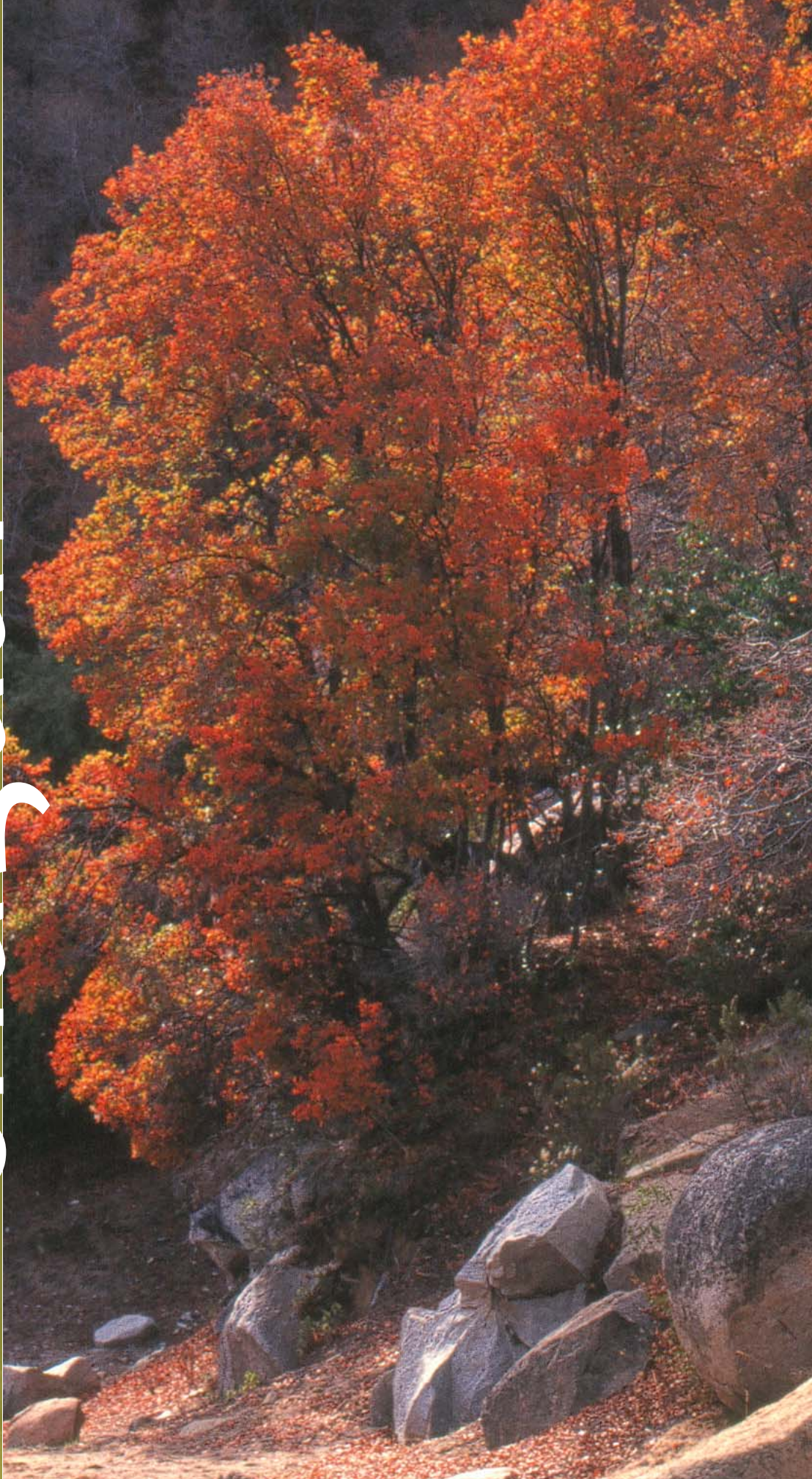
Año II, número 2  
Diciembre 2004

02  
chagual



chagual

JARDÍN BOTÁNICO  
DE SANTIAGO



# chagual

REVISTA DEL JARDÍN BOTÁNICO CHAGUAL

Año II, número 2  
Diciembre de 2004

## Directora

Antonia Echenique Celis

## Editores

María Victoria Legassa & Andrés Moreira Muñoz

## Edición y corrección de textos

Tiarella Moreira Muñoz

## Diseño y diagramación

Gabriel Valdés Echenique

## Impresión

Andros Impresores  
Santa Elena 1955, Santiago  
Santiago, Chile

Precio de suscripción: \$ 4.500

Precio compra directa: \$ 5.000

Se ofrece y acepta canje de publicaciones análogas

Exchange with similar publications is desired

Échange souhaité

Se disera el cambio con pubblicazione congeneri

© Corporación Jardín Botánico Chagual

ISSN: 0718-0276

Inscripción N° 136.662

Comodoro Arturo Merino Benítez s/n, Vitacura,  
Santiago, Chile.

La reproducción parcial o total de esta revista debe  
ser autorizada por los editores.

mvlc@adsl.tie.cl

amoreira@geographie.uni-erlangen.de



### Foto portada:

Detalle de

*Nothofagus macrocarpa*  
en otoño, cerro El Roble  
(Gustavo Aldunate).

## REVISTA DEL JARDÍN BOTÁNICO CHAGUAL

Año II, número 2  
Diciembre 2004

## Contenidos

EDITORIAL	
Antonia Echenique	3
ACTUALIDAD	
Nuevas tendencias en la sistemática de plantas y los retos para los jardines botánicos / Tod F. Stuessy	5
INTERNACIONAL	
El enfoque del Proyecto Edén para comprometer al público en la conservación / Sue Minter	14
CONSERVACIÓN	
Arquitectura y diseño al servicio de las plantas: El Jardín Botánico de Sóller, Mallorca, España / Josep Lluís Gradaille	21
PROYECTO CHAGUAL	
Flora del Jardín Botánico Chagual / Liliana Iturriaga, Virginia Mcostie, Jean Paul de la Harpe	26
PROPAGACIÓN	
<i>Nothofagus macrocarpa</i> "roble de Santiago" y las dificultades de propagación de las especies del género <i>Nothofagus</i> / Ángel Cabello	37
ECOLOGÍA	
Antecedentes sobre el roble de Santiago o roble blanco ( <i>Nothofagus macrocarpa</i> ) y sus problemas de conservación / Rodolfo Gajardo	42
BIOGEOGRAFÍA	
<i>Nothofagus</i> Bl., pieza clave en la reconstrucción de la biogeografía del hemisferio austral / Andrés Moreira Muñoz	48
GÉNEROS CHILENOS	
El género <i>Misodendrum</i> DC. en Chile / Mélica Muñoz Schick	57
Especies chilenas de <i>Cyttaria</i> Berkeley (Cyttariaceae) / Elizabeth Barrera	62
CONGRESOS, SEMINARIOS, TALLERES	
• Iniciativa de conservación de especies arbóreas amenazadas y endémicas del centro-sur de Chile / Cristian Echeverría	66
• La región del Mediterráneo: un hotspot para la investigación biogeográfica de las plantas / Hans Peter Comes	70
• Segundo Taller sobre Jardines Botánicos, Buenos Aires	76
• Segundo Congreso Mundial de Jardines Botánicos, Barcelona	77
ACTIVIDADES CHAGUAL	
Noticias vinculadas al Jardín Botánico Chagual	78



JARDÍN BOTÁNICO  
DE SANTIAGO



## Editorial

---

En el segundo año de esta revista podemos hacer una evaluación positiva de los avances logrados en el promisorio proyecto de dotar a Santiago de un jardín botánico. 2004 ha sido el año del reconocimiento público del aporte científico y sociocultural que conlleva el desarrollo de este proyecto, pues fue distinguido como uno de los ocho premiados con el Sello Bicentenario. Este sello fue instituido por la Comisión Bicentenario que fundó el Presidente Ricardo Lagos, para diseñar políticas, programas y actividades que permitan llegar a la celebración de los 200 años de la Independencia de Chile, como una nación desarrollada e integrada en su diversidad. Será entregado hasta el 2010 cada año “a aquellos proyectos que contribuyan de manera notable a la conservación y proyección del patrimonio tangible e intangible del país, así como al desarrollo de un Chile libre y democrático, diverso e integrado, socialmente equitativo, en crecimiento y en armonía con el medioambiente”. A pesar de su carácter simbólico, la comisión se compromete a generar los vínculos necesarios para la materialización de las iniciativas premiadas, lo que abre nuevas perspectivas y posibilidades para el financiamiento de la primera etapa del Jardín Botánico Chagual. Cabe destacar que los ocho proyectos fueron seleccionados entre 800 iniciativas relacionadas con ciencia, cultura, tecnología, arte, urbanismo y medioambiente, entre otras temáticas.

Otro hito que marcó el año fue el inicio del Plan Maestro de Chagual, instrumento mediante el cual se definirá la forma que adoptarán las ideas y conceptos desarrollados en el Plan Botánico y en el programa general, considerando características como geomorfología del terreno, calidad de suelos, vegetación y disponibilidad de agua, conforme a los lineamientos obtenidos a partir del taller “Bases para la definición de colecciones del Jardín Botánico Chagual”, desarrollado a fines de 2002. El Plan Maestro está siendo realizado por un equipo profesional de arquitectos, arquitectos paisajistas y botánicos de la Pontificia Universidad Católica, en consulta con botánicos, ecólogos y agrónomos, entre otros profesionales de distintas instituciones y ámbitos académicos que han enriquecido este proceso.

En cuanto al vivero, a mediados de 2004 nuestro jardín se unió a los esfuerzos del Departamento de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, y CONAF Región Metropolitana, en el intento de reproducir vegetativamente ejemplares de *Nothofagus macrocarpa*: se instaló un primer ensayo dentro del invernadero del jardín. En el mismo ámbito, se han obtenido buenos resultados en el proceso de recolección y propagación de las especies que conformarán las colecciones de Chagual. En particular, especies arbóreas y arbustivas presentes en las laderas ecuatoriales, bosques espinosos, bosques esclerófilos de belloto-peumo, peumo-boldo, litre-quillay, ciprés de cordillera, y colecciones de Cactáceas, Bromeliáceas y Alstroemeriáceas; se ingresaron más de 100 accesiones a la base de datos BG-Recorder. Además obtuvimos la colaboración de los primeros alumnos que realizan su práctica profesional en el vivero del jardín.

---

En el ámbito internacional, participamos en el Segundo Congreso Mundial de Jardines Botánicos, organizado por Botanic Gardens Conservation International (BGCI) y el municipio de Barcelona. Allí tuvimos la oportunidad de presentar el proyecto y establecer o estrechar relaciones con muchos de los más de 500 delegados representantes de jardines botánicos de 50 países, particularmente con jardines españoles y de las demás zonas de clima mediterráneo, enfocados en la problemática y la representación florística de estas áreas. Fruto de ello y de una sostenida relación con el Jardín Botánico de Barcelona, su directora, la Dra. Núria Membrives, hizo pública la firma de un convenio de colaboración entre ese jardín y el Jardín Botánico Chagual.

Otro hecho destacable de 2004 fue nuestra participación en el Segundo Seminario-Taller sobre Jardines Botánicos en la República Argentina, organizado por la Red Argentina de Jardines Botánicos y la sede BGCI en ese país. En él conocimos la realidad de los jardines botánicos del país hermano -con el que compartimos especies vegetales- y pudimos establecer vínculos con sus directores y demás funcionarios. En este taller se evidenció la importancia de constituir la red de jardines botánicos en Chile, tarea que se nos encargó y a la cual nos dedicaremos durante el curso de 2005.

Nuestro número anterior estuvo dedicado a difundir los trabajos y los resultados del taller "Bases para la definición de colecciones del Jardín Botánico Chagual". En esta edición ofrecemos una mirada a diferentes enfoques, líneas de trabajo y desafíos que enfrentan los jardines botánicos en el mundo.

Entre los primeros artículos se muestran dos enfoques extremos: una reflexión en torno al surgimiento de nuevas tendencias dentro de la sistemática de plantas, y la capacidad de los jardines botánicos para absorber y poner en práctica las innovaciones que estas tendencias implican, y un trabajo sobre el Proyecto Edén del Reino Unido. Éste, lejos de plantearse los desafíos que conlleva el avance de la sistemática para la conservación, está concebido como un teatro para la creación de una conciencia pública sobre la importancia de la conservación de las plantas. Abordando el mismo tema de una forma completamente diferente, Edén no centra su quehacer en la labor científica sino que se acerca al público mediante nuevas propuestas comunicacionales elaboradas por equipos expertos en arte, actuación y publicidad.

El artículo sobre la experiencia de conservación *ex situ* desarrollada en el Jardín Botánico de Sóller, Mallorca, muestra una recreación de los hábitat de las plantas mediante el diseño y establecimiento de estructuras arquitectónicas específicas para cada tipo de especie, comunidad o fitoepisodio que se proponen conservar. La revista incluye también un estudio sobre la flora de nuestro jardín botánico, y una serie de artículos sobre el género *Nothofagus*, especies emblemáticas cuyos bosques de la zona central de Chile se encuentran altamente amenazados y fragmentados; Chagual tiene especial interés en representar estas comunidades y colaborar en su conservación. Los artículos acerca de este género abarcan desde la problemática referida a su propagación, ecología y biogeografía, hasta su estrecha relación con otros géneros como *Misodendrum* y *Cyttaria*. Por último, se incluyen dos artículos y dos notas sobre congresos y talleres organizados por jardines botánicos y otras instituciones académicas que dan cuenta de trabajos teóricos y prácticos relacionados con biosistemática, biogeografía, taxonomía vegetal, conservación, educación, gestión y otros tópicos de actualidad.

Es destacable y prometedor que hayamos logrado nuestro segundo número con la generosa contribución de la comunidad científica nacional e internacional. Vaya nuestro agradecimiento y nuestra invitación para que mantengamos su continuidad.

Antonia Echenique Celis  
Directora Ejecutiva  
Jardín Botánico Chagual de Santiago

## Nuevas tendencias en la sistemática de plantas y los retos para los jardines botánicos

Tod F. Stuessy  
Departamento de Plantas Superiores y Evolución,  
Instituto de Botánica, Universidad de Viena.  
tod.stuessy@univie.ac.at

La sistemática, o el estudio de la diversidad de la vida, es una de las áreas fundamentales de las ciencias biológicas. Saber cómo los organismos están relacionados, tanto en el presente como en el pasado, es importante para resolver los aspectos de la biología comparativa, como biología celular, fisiología, biología del desarrollo y ecología. La sistemática en un sentido amplio aborda temas que tienen que ver con nuestros propios orígenes, que interesan a la mayoría de las personas en el contexto mundial, filosófico y religioso. Las plantas figuran de manera visible, debido a que nos proveen de alimentos, materiales de construcción, estructuras, ropa, medicinas, y enriquecen nuestras actividades a través de su belleza intrínseca y la fascinación que despiertan en nosotros.

Ningún biólogo ha permanecido inmóvil ante la creciente amenaza de la crisis de la biodiversidad que nos acontece. Los argumentos y estrategias políticas del crecimiento económico para mejorar la calidad de vida del hombre continúan intensificando las presiones contra otras formas de vida. La sistemática juega un papel fundamental en los temas de biodiversidad, ya que para su manejo correcto debemos saber cuáles son los organismos que pueblan nuestro planeta, cómo están relacionados entre sí y con nosotros, cómo pueden ser clasificados en un sistema de información adecuado, y cómo podemos denominarlos con el propósito de una comunicación eficiente.

Con motivo de la agudización de nuestra conciencia sobre la crisis de la biodiversidad durante las últimas décadas, la sistemática también ha evolucionado. Han surgido nuevas tendencias, lo cual era casi inimaginable hace sólo 20 años. Muchas iniciativas están sucediendo en múltiples países debido a la petición de inventarios de mayor calidad, y por las mejores comunicaciones entre los científicos debido a la globalización y a la conexión electrónica. A la vez se están desarrollando nuevas aproximaciones para determinar las relaciones evolutivas, en gran medida a través del aprendizaje en el manejo de los datos de ADN. A estas montañas de datos les siguen las innovaciones en programas informáticos para encontrar las mejores señales filogenéticas<sup>1</sup> o de información contenidas en el ADN. El avance en la medición de estas relaciones ha sido seguido por iniciativas cuantitativas similares para explicar distribuciones de organismos en el espacio y el tiempo, es decir, innovaciones en biogeografía. El acceso a la tecnología de internet y el acompañamiento de las bases de datos y programas gráficos, abren nuevas oportunidades de compartir esta información entre organizaciones. Los desarrollos han sido rapidísimos, y no muestran señales de retroceso.

Los jardines botánicos entretanto han significado un oasis para la diversidad de las plantas durante más de 500 años. La relación de los jardines botánicos y la sistemática de plantas ha sido siempre fuerte desde el punto de vista

<sup>1</sup> Filogenia: estudio del parentesco de las plantas o animales a través de los genes.

de las instituciones, debido a la lógica interacción a nivel de enseñanza e investigación (Lack 1998). Los jardines botánicos crecen y se desarrollan, especialmente en Europa, donde existen más de 400, algunos muy grandes, que contienen más de 20.000 especies de plantas (Berlín). Pero se puede preguntar con toda seriedad: ¿se están desarrollando los jardines botánicos lo suficientemente rápido como para continuar con tantos desarrollos en la sistemática de plantas? Continúan otorgando entretención y esparcimiento a millones de personas anualmente, pero ¿se están modernizando y siguiendo el ritmo de la sistemática de plantas?

Los propósitos de este artículo por lo tanto son: (1) revisar las nuevas tendencias en inventariado, determinación de relaciones y acceso a la información, y (2) comentar la adecuación de los jardines botánicos para ajustarse a estas nuevas tendencias, incluyendo la oferta de recomendaciones específicas para alcanzar estas metas.

### NUEVAS TENDENCIAS EN LA SISTEMÁTICA DE PLANTAS

Existen tantas nuevas aproximaciones y tendencias que exponer cada una de ellas sería agotador. El objetivo de este artículo es hacer hincapié en áreas generales de desarrollo, cada una de las cuales debería tener un impacto más directo sobre los jardines botánicos. Desde mi punto de vista, las áreas principales, como ya lo enuncié, son innovaciones de inventariado, nuevas formas de determinar relaciones (especialmente debido a datos de ADN y algoritmos informáticos) y nuevos modos de acceso para comparar información botánica.

**Inventariando todas las formas vivientes.** Uno de los logros más espectaculares durante la pasada década fue el hecho de que la comunidad bióloga sistemática se puso de acuerdo por primera vez en una única prioridad: el inventariado de todas las formas de vida sobre la Tierra (Anónimo 1994). Mientras este tipo de consenso es bastante común en la astronomía y la física, ha sido difícil conseguirlo en biología sistemática debido a nuestra orientación taxonómica. Sin embargo, el que hayamos aprendido a hablar en un mismo lenguaje es un milagro moderno, y determinar qué formas vivientes cohabitan el planeta con noso-

tros es ciertamente el primer paso para obtener una comprensión sobre su biología, filogenia, evolución, ecología y eventualmente sobre su futuro manejo para nuestra (y su) supervivencia. El entusiasmo ha generado expresiones como "...exploración pionera de la vida en un pequeño planeta conocido" (Wilson 2004) o "Una nueva era de descubrimiento" (Donoghue & Alverson 2000). Pero el retraso se ha convertido en una práctica común en esta meta tan loable. El programa ALL Species<sup>2</sup> (Smith & Klopffer 2002, Boom en prensa), que fijó el objetivo de inventariar casi todas las especies (ca. 90%) a nivel mundial en un período de 25 años, fue inicialmente alentado con sumas enormes de dinero de patrocinadores poderosos, pero ha bajado debido a la reducción de los fondos, el estancamiento de la bolsa y la recesión mundial. Paralelamente está el énfasis en producir una lista de comprobación de plantas con flores (Lughada 2004), la cual está en proceso en el Jardín Botánico de Kew, que empezó con las monocotiledóneas (Govaerts 2004) y acabará con las dicotiledóneas alrededor del año 2010 (Crane 2004).

Muchos proyectos florísticos están también en desarrollo, lo que atestigua un nivel creciente de interés en el inventariado (ver Campbell & Hammond 1989). No por diseño global sino más bien por iniciativas de investigación, una nueva ola de actividad florística se ha expandido por todo el mundo, especialmente en los países tropicales. El proyecto Flora Malesiana por ejemplo, aunque concebido hace casi 60 años, aún es sólido y está sirviendo de resguardo efectivo para estimular todos los niveles de investigación en la sistemática de plantas. Se están llevando a cabo proyectos florísticos activos en casi todos los países del mundo, especialmente en los trópicos del Nuevo y Viejo Mundo. Prather *et al.* (2004) se quejan de un declive en la recolección de plantas para la investigación de la sistemática, pero este hecho es sólo visible en las regiones altamente desarrolladas en el suroeste de Estados Unidos y Europa.

Algunos investigadores plantean el "impedimento taxonómico" (Environment Australia 1998) de no tener suficientes recursos humanos para terminar el inventariado (Raven 2004). Mientras que este hecho es verdadero de alguna forma, una solución puede residir en el uso de parataxónomos. Éstas son personas con un buen entrenamiento en técnicas de recolección y procesado, aunque sin título formal o experiencia universitaria. Desde una perspectiva social, algunos pueden criticar la formación de estos colaboradores partiendo de la base de que pueden ob-

tener trabajos que podrían estar más indicados para taxónomos expertos. Sin embargo, se ha demostrado que los parataxónomos pueden contribuir positivamente en las actividades del inventariado, siempre y cuando se les supervise de una forma correcta (Basset *et al.* 2000).

Se están haciendo también proyectos monográficos<sup>3</sup>, algunos con amplias perspectivas como el proyecto Species Plantarum (Brummitt *et al.* 2001), un esfuerzo a largo plazo y escala global. Flora Neotrópica es esencialmente una revisión de toda la flora vascular de los trópicos del Nuevo Mundo (Thomas en prensa). La necesidad de nuevas monografías es indiscutible, ya que éste es el nivel fundamental de la sistemática de plantas del cual otros estudios florísticos y experimentales (evolucionarios) se sustentan (Stuessy 1975, 1993). Estas investigaciones dan también perspectivas básicas de conservación que serán necesarias para una lista estandarizada de especies amenazadas del mundo (Kirchner & Kaplan 2002). Samper (2004) destaca la importancia de tener una taxonomía sana para poner en práctica una política a nivel mundial. Alan Graham (2003) nos

recuerda que también debemos preocuparnos por la conservación de los *hotspots* paleobotánicos, es decir, depósitos de fósiles con alta diversidad taxonómica que pueden ser amenazados por proyectos de desarrollo. Aunque con menor daño inmediato debido a su estatus de "no viviente", ellos son un registro de la vida pretérita muy importante para la interpretación efectiva de las relaciones actuales de las plantas. Sin embargo, debido a la clara tendencia mundial hacia las investigaciones filogenéticas basadas en el ADN (Wortley *et al.* 2002), la generación más joven se está concentrando menos en el trabajo monográfico basado en la morfología (Lammers 1999, Landrum 2001). Esto es entendible, dado el fascinante potencial que el ADN ofrece para la comprensión de las relaciones en todos los niveles, pero no presagia un buen futuro. Quizás la solución esté en subrayar que los nuevos avances en la teoría de la evolución sólo pueden venir de personas que trabajen en taxones específicos. Abordar filogenéticamente los datos de alguien no es suficiente para alcanzar nuevas perspectivas creativas.

Algunos investigadores sienten que la monografía tradicional consume demasiado tiempo, y con el aumento de las presiones en contra de la biodiversidad, no es suficientemente rápida como para permitir un inventariado efectivo. Se ha recomendado el inventariado genético a través del ADN como una alternativa (Blaxter 2003), pero el reto está en encontrar una serie de secuencias de genes no codificantes en cada uno de los mayores grupos elegidos, que permita la discriminación de las especies. Venter *et al.* (2004) han demostrado cómo el ADN "shotgun"<sup>4</sup> puede trabajar bien en bacterias marinas, pero necesita una secuenciación intensiva en laboratorio. Descubrieron 148 nuevos filotipos<sup>5</sup> de procariontes en cerca de 200 litros de agua de mar en diferentes lugares en el Mar Sargazo.

Deberían hacerse estudios experimentales con plantas vasculares en hábitat seleccionados para evaluar su potencial en posteriores estudios, y también con algas de profundidad y hongos, aunque tales estudios ignorarían completamente la biología de los organismos, y no serían sustitutos para el entendimiento que aportan las monografías y los estudios ecológicos y evolucionarios (Raven 2004). Sin embargo, sería útil explorar los niveles de diversidad genética en ecosistemas particulares, como una primera estimación de la biodiversidad.

**Determinación de las relaciones.** La segunda área de reciente mejoría en la sistemática de plantas es el desarrollo de vías más precisas para inferir relaciones tanto en el tiempo como en el espacio, por ejemplo, en el análisis filogenético y en biogeografía<sup>6</sup>. A fines de 1950, con trabajos iniciales de Michener & Sokal (1957) y Sneath (1957), la fenética o taxonomía numérica nos enseñó a ver más precisamente caracteres y estados, para codificarlos numéricamente, y a usar computadores para ayudarnos a encontrar la estructura en nuestros datos. En las décadas de los '70 y '80, la cladística<sup>7</sup> nos enseñó a reinserter las hipótesis evolucionarias en nuestra evaluación cuantitativa de las relaciones. Esto condujo a la creación de varias hipótesis filogenéticas explícitamente derivadas,

**Saber cómo los organismos están relacionados, tanto en el presente como en el pasado, es importante para resolver aspectos de la biología comparativa, como biología celular, fisiología, biología del desarrollo y ecología.**

<sup>2</sup> <http://www.all-species.org>

<sup>3</sup> Estudio sobre un tema concreto y restringido.

<sup>4</sup> Se denominan "shotgun" los métodos utilizados para fragmentar las moléculas de ADN.

<sup>5</sup> Caracterización filogenética de un organismo.

<sup>6</sup> Estudio de la distribución de los vegetales y animales en la superficie terrestre.

<sup>7</sup> Método de reconstrucción de la filogenia, relativo a patrones de ramificación.

basadas en datos morfológicos. Sin embargo, en los últimos 15 años, la accesibilidad a nuevas técnicas de biología molecular, especialmente PCR (Polymerase Chain Reaction) y secuenciadores automatizados de ADN, ha arrojado nuevos datos de secuencias de ADN y el análisis de fragmentos. Nuevos y más rápidos algoritmos han sido desarrollados para poder manejar todos estos datos, como los métodos de probabilidad y bayesiano<sup>8</sup> (Felsenstein 2003), con una antigua mezcla ecléctica de aproximaciones fenéticas y cladistas. Sin cuestionar estas ventajas, además de las medidas estadísticas de robustez, han conducido a la aceptación y utilidad de árboles filogenéticos en otras tantas áreas de la biología comparativa (Harvey *et al.* 1996).

Lo que más hemos aprendido de estos nuevos esfuerzos es que la reconstrucción de las filogenias es complicada, y que mientras más aprendemos sobre genómica comparativa<sup>9</sup>, más compleja se hace. Las comparaciones totales de la genómica no son factibles, pero este hecho no dirime el problema de la evaluación de relaciones, ya que no todas las regiones del genoma están igualmente diagnosticadas para la datación de la historia evolutiva. En casos específicos, las comparaciones genómicas pueden ser muy poderosas para la revelación de duplicación de eventos y para ayudar a distinguir secuencias ancestrales de derivadas y secuencias uniformes (Kellis *et al.* 2004). Luchamos por decidir qué partes del genoma nos informan sobre las relaciones evolutivas en realidad, y cómo con todos los tipos de datos comparativos hemos aprendido que depende del grupo particular y del nivel específico en la jerarquía taxonómica. El intercambio genético ha sucedido también entre organismos, especialmente entre los procariotas, de forma que ahora puede ser más apropiado hablar de una “red de la vida” (Doolittle 1999) o un “anillo de la vida” (Rivera & Lake 2004) más que de un “árbol de la vida” (Soltis & Soltis 2001); el último concepto aún está en uso aunque para eucariotas. Incluso conocemos la existencia de la transferencia genética entre

orgánulos y núcleos en células eucariotas (Adams *et al.* 2000, Huang *et al.* 2003), entre mitocondrias y distintos grupos de plantas con flores (Bergthorsson *et al.* 2003), e incluso entre parásitos y hospedante (Davis & Wurdack 2004). La visión anterior de una vida simple, dicotómica y divergente está siendo sustituida por un modelo complejo y reticulado.

A pesar de los problemas con las interpretaciones del ADN al inferir relaciones, algunos científicos han pedido un sistema taxonómico que esté basado en datos de ADN (Tautz *et al.* 2003). Yendo más allá de la Unidad Taxonómica Operacional (UTO) de la fenética y de la Unidad Evolutiva (UE) de los cladistas, Blaxter (2004) sugirió la UTOM o Unidad Taxonómica Operacional Molecular. Otros han cuestionado si la morfología es todavía relevante (Baker & Gatesy 2002; en este caso los autores contestan afirmativamente en lo referente a fósiles). Combinada con el concepto de UTOM está la iniciativa de asignar un código de barras a todas las especies orgánicas (Stoeckle 2003). De hecho, la Fundación Alfred P. Sloan financió un proyecto experimental para que este concepto sea estudiado en animales relacionados con temas ambientales y biomédicos (reportaje en la revista inglesa Nature, Anónimo 2004). El objetivo aquí es doble: usar el ADN como medio automático de identificación de especies (Gaston & O'Neill 2004) y para un inventariado efectivo de la biodiversidad.

Habiéndose utilizado métodos cuantitativos para las reconstrucciones filogenéticas durante las pasadas dos décadas, no es sorprendente que se hayan extendido a la biogeografía. Crisci *et al.* (2003) realizaron el primer boceto de distintas aproximaciones para determinar los patrones biogeográficos e inferir los procesos que subyacen en ellos. Éstos incluyen biogeografía cladista y filogenética, análisis del área ancestral, panbiogeografía<sup>10</sup>, análisis de la parsimonia, modelado informático e incluso filogeografía<sup>11</sup> a nivel de población, basados en datos de ADN (Avice 2000).

### Los jardines botánicos continúan otorgando entretención y esparcimiento a millones de personas anualmente, pero ¿se están modernizando y siguiendo el ritmo de la sistemática de plantas?

Combinada con el concepto de UTOM está la iniciativa de asignar un código de barras a todas las especies orgánicas (Stoeckle 2003). De hecho, la Fundación Alfred P. Sloan financió un proyecto experimental para

**Mejoramiento del acceso a datos.** Debido a la naturaleza descriptiva de la sistemática de plantas, un área natural de innovación sería la amplificación de estos datos. La oportunidad más novedosa está en un mayor uso de internet. Godfray (2002) ha enfatizado de forma exagerada que la importancia de las fuentes del conocimiento en el área de la taxonomía “... tendrá que ser reinventada si quiere sobrevivir y florecer” (p. 17). Aunque esta perspectiva es incierta, no cabe duda acerca de las oportunidades que ofrece internet en el acceso a la información sobre diversidad botánica (y zoológica y microbiana).

Wheeler (2004) y Wilson (2003) han insistido en la importancia de subir trabajos monográficos completos y floras a la red global, pero esto es un asunto de los derechos de publicación, los beneficios de los editores y los derechos de autor. El procedimiento más frecuente es que la versión de internet aparezca tras un par de años de la publicación impresa. Algunos proyectos de fondos públicos trabajan ambas versiones a la vez (Flora of North America Project). De hecho, sólo unos pocos proyectos de sistemática de plantas están en internet (Wilson 2001).

Crane (2004) ha destacado el valor de poner las imágenes de especímenes-tipo en internet, lo que está siendo llevado a cabo en muchas instituciones. Tiene también la ventaja de hacer estas fuentes históricas disponibles para los investigadores de países subdesarrollados, donde las especies fueron recolectadas originariamente por científicos europeos y norteamericanos. Un fuerte apoyo para estas imágenes digitales ha dado la Global Biodiversity Information Facility (GBIF)<sup>12</sup>.

Otro procedimiento es considerar el uso de internet para la descripción de nuevas especies, como manifestó Godfray (2002). El problema aquí no está en la accesibilidad, sino en la duración. Es totalmente incierto cuánto tiempo pueden permanecer los materiales en la web, y la pérdida de páginas, o la imposibilidad de localizarlos otra vez con los programas de búsqueda, es de lo más común. La descripción de nuevas especies, desde luego, puede ser publicada en papel y en internet a la vez, y esto debería ser promovido. Un procedimiento mucho más aceptado, y por otra parte más necesario, es el desarrollo de bases de datos *on line* para metadatos, tales como morfología, cito-

logía, anatomía, etc., es decir, elaboraciones de la matriz básica de datos de vida más allá de la morfología básica. GenBank y otros bancos de datos de secuencias de ADN son ejemplos de cómo esto puede funcionar efectivamente, pero se necesitan fondos para su mantenimiento, y ha sido muy difícil conseguirlos.

Un paso adelante dio Scoble (2004) al decir que la comunidad biológica taxonómica debería decidir una “unidad taxonómica” y publicarla en internet como autoridad para todas las aplicaciones. El único problema de esta sugerencia es que las clarificaciones son hipótesis de relaciones, sujetas a cambio cuando nuevos datos invalidan la estructura anterior. En un futuro esto se estabilizará, pero con el conocimiento actual de tan sólo cerca del 10% de las formas de vida de la Tierra, el proceso será muy lento.

El tiempo traerá soportes electrónicos que facilitarán el acceso a los datos. Janzen (2004) ha promovido The Gadget, una unidad portátil para usar en terreno, que conecta las bases de datos de distintas instituciones vía satélite. Tal instrumento permitiría a los investigadores un mayor acceso a datos gráficos y de texto, facilitando identificaciones para todo

### Las plantas vivas tienen genomas útiles para ser analizados, cromosomas para ser contados, y desarrollo para ser estudiado, lo cual es casi imposible en el material seco de los herbarios. La fuente de los jardines botánicos es extremadamente valiosa.

tipo de propósitos sistemáticos, evolucionarios y medioambientales. Mirando hacia el futuro (Stuessy 1996) sugiero que un día tendremos una base de datos “speciose” (rica en número de especies) con todos los datos comparativos de los organismos, accesibles en cubículos de realidad virtual en herbarios o bibliotecas, permitiendo visiones 3D del medioambiente, los organismos y sus estructuras, basadas en la información comparativa contenida en numerosas bases de datos conectadas. Esto asumiré cada vez mayor importancia, desgraciadamente, a medida que los hábitat vayan siendo destruidos.

Junto con un mayor acceso a la información, existe la necesidad de un sistema de denominación estable para permitir una comunicación precisa sobre los taxones. Dos iniciativas para el progreso de la nomenclatura merecen ser comentadas. La primera es el BioCode (Greuter *et al.* 1998), la cual pretende unificar los códigos actuales para plantas, animales y bacterias. Aunque esto es un objetivo útil, los pasados 250 años de desarrollo de códigos independientes harán difícil su realización en un breve período

<sup>8</sup> Se basa en el teorema de Bayes.

<sup>9</sup> Genoma: conjunto de los genes de un organismo.

<sup>10</sup> Método que permite analizar áreas de distribución conjuntas de diversos organismos, buscar relaciones espaciales entre las mismas y reconocer los nodos, los cuales son áreas que representan fragmentos bióticos y geológicos ancestrales distintos, que se relacionan en espacio y tiempo como respuesta a algún cambio tectónico (Crisci & Morrone 1992).

<sup>11</sup> Disciplina de nexo entre la genética de poblaciones y el análisis filogenético.

<sup>12</sup> <http://www.gbif.org/>

(Orchard 1996). Los diversos homónimos genéricos entre la botánica y la zoología son una ilustración de los problemas prácticos a los que esta iniciativa se enfrenta.

La segunda iniciativa es el PhyloCode (Cantino & De Queiroz 2000). Este conjunto de reglas para la denominación persigue asentar los nombres o modos de circunscripciones taxonómicas (ej. De Queiroz & Gauthier 1992) más que los tipos, y permitir tan sólo dos categorías: el clado y la especie. Eso eliminaría los conceptos género, familia, orden, etc. que se han usado durante más de 250 años. La razón para hacer esto es conseguir la estabilidad de los nombres de los clados, ya que éstos se mueven constantemente, cambiando a nuevas hipótesis filogenéticas. Pero una alteración tan drástica en la denominación del mundo sería, en el mejor de los casos, totalmente contraproducente en el contexto de intentar inventariar el planeta. Buscar fondos para el inventariado mundial representa en sí un reto, pero planificar el cambio de todos los nombres sería el fin para esta iniciativa. Además, se ha demostrado (Barkley *et al.* 2004) que con sólo unos pocos ajustes, el actual Código Internacional de Nomenclatura Botánica es bastante adecuado para satisfacer las necesidades de los análisis y clasificación de la filogenia, aunque es insuficiente para algunos entusiastas del PhyloCode (Cantino 2004).

### LOS RETOS PARA LOS JARDINES BOTÁNICOS

En el contexto de todos estos apasionantes desarrollos en la sistemática de plantas, necesitamos examinar los jardines botánicos y los retos a los que se enfrentan. En algunos sentidos, nuestros jardines están siendo olvidados. Wheeler (2004, p. 571) ha remarcado: "La claridad de la visión y el coraje del propósito necesitan de científicos taxonomistas y de los museos de historia natural para provocar la evolución de la taxonomía en la era de la información". Es destacable que no hace mención a los jardines botánicos, ¡sólo a los taxonomistas y a los museos!

Una de las razones por las que los jardines botánicos quedan apartados de cualquier visión para el progreso en la sistemática de plantas, y en un contexto más amplio, estudios de biodiversidad, puede ser que éstos juegan muchos papeles diferentes. Dependiendo del jardín, los objetivos son normalmente una mezcla de enseñanza, investigación y servicio al público. Los jardines universitarios son

fuertes en los dos primeros objetivos, y usualmente más débiles en el tercero. Algunos jardines tienen como misión principal servir al público, por medio del esparcimiento, la recreación y estímulos estéticos. En este extremo, un jardín puede ser entendido como un museo de arte viviente que comunica conceptos de composición, forma, textura y color, más que como una forma de mostrar las relaciones de las plantas, la economía botánica o los conceptos de evolución. En general, los jardines botánicos hacen un buen trabajo, en mi opinión, al enseñar la biodiversidad en un nivel general a través de sus exhibiciones al aire libre, conferencias, talleres, excursiones de colegios, charlas, días de jornadas de puertas abiertas, conservación *in situ* y excursiones a otros países.

En vista de estas actividades positivas de los jardines botánicos, ¿por qué entonces no son tomados en serio en el contexto de la sistemática de plantas? La respuesta reside en dos puntos. Primero, la biodiversidad contenida en ellos se ha obtenido de muchas otras fuentes, a menudo compartidas entre jardines botánicos, de modo que se hace redundante más que diversa. Debido a que los jardines botánicos han mostrado cualidades y funciones estéticas, además de la manifestación de la necesidad de enseñar sobre plantas y sobre conceptos de biodiversidad, una especie común puede satisfacer estas necesidades con éxito y eficacia. En consecuencia, las plantas de los jardines botánicos pueden no representar una fuente tan rica de germoplasma como su número podría sugerir, pues muchos especímenes son mantenidos vivos y comercializados a través de la propagación vegetativa. En este sentido, los jardines botánicos deberían intentar aumentar sus tenencias a nivel de especie en un programa comparativo de conservación *ex situ*. El modelo para esta iniciativa podría ser Europa, con más de 400 jardines botánicos y una flora vascular manejable de 11.000 especies. Esto representa 26 especies por jardín, si la flora fuese reunida en un plan de preservación fructífero. En efecto, los jardines europeos tienen el espacio y las fuentes económicas como para alcanzar tal modelo de programa *ex situ*, como un ejemplo para otras regiones del mundo. Los retos residen en los países tropicales en vías de desarrollo, los cuales no tienen ni suficientes jardines ni fuentes financieras para continuar la tarea. El apoyo de los países desarrollados, especialmente a través de las afiliaciones de jardines hermanados, es una solución recomendable.

La segunda razón por la que los jardines botánicos no figuran como parte visible de la solución para el progreso de la sistemática de plantas es que la documentación de materiales vivientes por lo general no es muy precisa.

Especialmente en los jardines botánicos europeos, algunos de los cuales tienen cientos de años de antigüedad, existen árboles enormes cuyos orígenes han sido olvidados hace mucho tiempo. La realidad tiene que enfrentarse a plantas vivas, sin datos sobre su procedencia, lo cual reduce altamente su valor para propósitos de investigación. El germoplasma vivo es mejor que nada, pero investigadores serios buscan materiales bien documentados para análisis comparativos modernos y cuidadosos.

Por ello, es esencial que los jardines botánicos evalúen sus actividades y fuentes, y adopten programas que mejoren el valor científico de sus colecciones. Las plantas vivas tienen genomas útiles y explorables para ser analizados, cromosomas para ser contados, y desarrollo para ser estudiado, lo cual es casi imposible en el material seco de los herbarios. Por lo tanto, la fuente es extremadamente valiosa, pero la documentación debe ser mejorada en varios sentidos. (1) Se deben destinar más esfuerzos para tener identificaciones precisas de todas las plantas del jardín. El cambio de etiquetas, ya sea inadvertidamente o a propósito, puede complicar el objetivo; se recomienda salvaguardar las imágenes digitales de todos los materiales vivos cuando se planten por primera vez en jardines de acceso público. Estas imágenes pueden asimismo ser publicadas en internet como un servicio para interesados, profesores e investigadores. (2) Es muy importante incluir en páginas web las listas comprobadas de especies con indicación de disponibilidad de semillas (u otros propágulos). Todas las colecciones deben ser inventariadas electrónicamente, porque pocas, de cualquier tipo, serán consultadas en el futuro si los contenidos no se encuentran en internet. (3) Las colecciones de ADN en sílica-gel (Chase & Hills 1991) de materiales vivos deberían hacerse rutinariamente de manera que esta fuente esté disponible para la comunidad, en caso de que las plantas mueran. (4) Para asegurar el máximo valor de los materiales de sílica-gel (normalmente hojas) para estudios de ADN, y para sostener todos los demás tipos de datos comparativos basados en partes de plantas (granos de polen, flores, semillas), especímenes de herbarios deberían hacerse tan pronto como cualquier material de las plantas sea tomado para propósitos científicos. Los herbarios de los jardines añaden otro costo a sus ya excesivos gastos, pero por la seriedad del propósito científico, es altamente recomendado. Las actividades en los herbarios son también atractivas para los ciudadanos mayores, quienes disfrutan de actividades de montaje de muestras en un contexto social. (5) Los jardines botánicos deberían buscar el desarrollo de proyectos de investigación en colaboración con otras instituciones y

departamentos científicos. El conocimiento de una colección viva despierta a menudo el interés de estudios filogenéticos y evolutivos. Tales interacciones enriquecen a ambas partes y los jardines botánicos ganan un mayor perfil de investigación, nuevos conceptos taxonómicos y nombres para mejorar la información sobre las colecciones vivas. (6) Finalmente, es muy recomendable que colecciones de investigación detalladas de un jardín, después de terminada una investigación, sean cedidas a otros jardines, a personas interesadas en tales grupos. A menudo estas decisiones no se llevan a cabo lo suficientemente rápido; las valiosas colecciones se reducen debido a la falta de resguardo y disminuyen su información por el inevitable intercambio de etiquetas en el tiempo.

Todos estos puntos subrayan la necesidad de los jardines botánicos de aumentar sus perfiles de investigación. Son instituciones únicas "...¡las cuales en términos de especies por metro cuadrado son las comunidades de plantas más ricas de la Tierra!" (Mabberley 1995, p. 18). Necesitamos aceptar el reto de documentar mejor esta rica herencia y aumentar nuestra capacidad de almacenamiento para un uso óptimo por parte de los investigadores. Nuestros jardines deben ser algo más que lugares encantadores para dar un paseo los domingos por la tarde, tomar un café, conversar, y regresar a casa. Si no mejoramos nuestra situación científica, permaneceremos en las calmadas sombras de nuestras lindas avenidas, mientras las modernas iniciativas en sistemática de plantas se nos alejan.

### AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Andrés Moreira Muñoz, quien fue tan amable en invitarme a contribuir con este artículo en Chagual, y a Roberto Salguero, por haber traducido el artículo del inglés original.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams KL, DO Daley, Y-L Qiu, J Whelan & JD Palmer. 2000. Repeated, recent and diverse transfers of a mitochondrial gene to the nucleus in flowering plants. *Nature* 408: 354-357.
- Anónimo. 1994. Systematics Agenda 2000: Charting the Biosphere. American Museum of Natural History and New York Botanical Garden, New York.

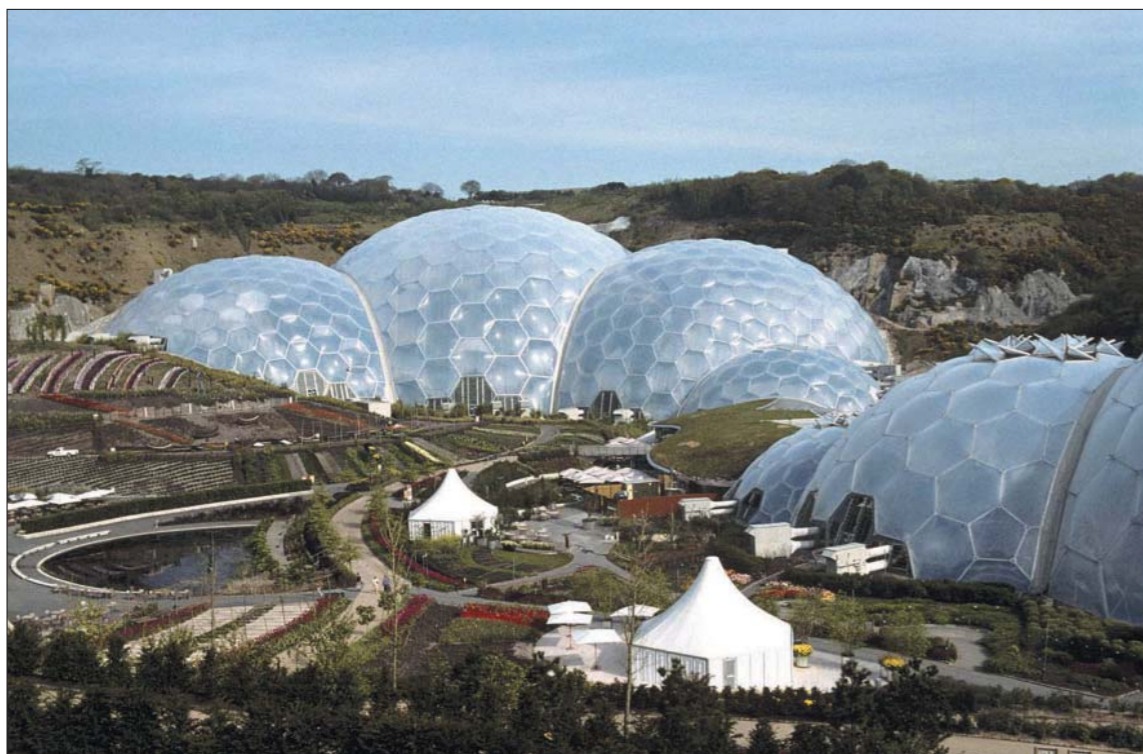
- Anónimo. 2004. Animal database plays tag with DNA barcodes. *Nature* 428: 687.
- Avise JC. 2000. *Phylogeography: The History and Formation of Species*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Baker RH & J Gatesy. 2002. Is morphology still relevant? Pp. 163-174 in: DeSalle R, G Giribet & W Wheeler (eds.). *Molecular Systematics and Evolution: Theory and Practice*. Birkhauser, Basel.
- Barkley TM, P DePriest, V Funk, RW Kiger, WJ Kress & G Moore. 2004. Linnaean nomenclature in the 21<sup>st</sup> Century: a report from a workshop on integrating traditional nomenclature and phylogenetic classification. *Taxon* 53: 153-158.
- Bassett Y, V Novotny, SE Miller & R Pyle. 2000. Quantifying biodiversity: experience with parataxonomists and digital photography in Papua New Guinea and Guyana. *BioScience* 50: 899-908.
- Bergthorsson U, KL Adams, B Thomason & JD Palmer. 2003. Widespread horizontal transfer of mitochondrial genes in flowering plants. *Nature* 424: 197-201.
- Blaxter ML. 2003. Counting angels with DNA. *Nature* 421: 122-124.
- Blaxter ML. 2004. The promise of a DNA taxonomy. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 669-679.
- Boom BM (in press). Global biodiversity inventory efforts: the case of the ALL Species Foundation. *Symbol. Bot. Upsaliensis*.
- Brummitt RK, S Castroviejo, AC Chikuni, AE Orchard, GF Smith & WL Wagner. 2001. The Species Plantarum Project, an international collaborative initiative for higher plant taxonomy. *Taxon* 50: 1217-1230.
- Campbell DG & HD Hammond (eds.). 1989. *Floristic Inventory of Tropical Countries*. New York Botanical Garden, New York.
- Cantino PD. 2004. Classifying species versus naming clades. *Taxon* 53: 795-798.
- Cantino PD & K de Queiroz. 2000. *PhyloCode: A Phylogenetic Code of Biological Nomenclature*. <http://www.ohiou.edu/phylocode/printable.html>.
- Chase MW & HH Hills. 1991. Silica gel: an ideal material for field preservation of leaf samples for DNA studies. *Taxon* 40: 215-220.
- Crane PH. 2004. Documenting plant diversity: unfinished business. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 735-737.
- Crisci JV, L Katinas & P Posadas. 2003. *Historical Biogeography: an Introduction*. Harvard University Press, Cambridge.
- Davis CC & KJ Wurdack. 2004. Host-to-parasite gene transfer in flowering plants: phylogenetic evidence from Malpighiales. *Science* 305: 676-678.
- De Queiroz K & J Gauthier. 1992. Phylogenetic taxonomy. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 23: 449-480.
- Donoghue MJ & WS Alverson. 2000. A new age of discovery. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 87: 110-126.
- Doolittle WF. 1999. Phylogenetic classification and the universal tree. *Science* 284: 2124-2128.
- Environment Australia. 1998. *The Darwin Declaration*. Australian Biological Resources Study, Environment Australia, Canberra.
- Felsenstein J. 2003. *Inferring Phylogenies*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Gaston KJ & MA O'Neill. 2004. Automated species identification: why not? *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 655-667.
- Godfray HCJ. 2002. Challenges for taxonomy. *Nature* 417: 17-19.
- Govaerts R. 2004. The Monocot Checklist Project. *Taxon* 53: 144-146.
- Graham A. 2003. The concepts of deep-time floras and paleobotanical hot-spots. *Syst. Bot.* 28: 461-464.
- Greuter W, DL Hawksworth, J McNeill, MA Mayo, A Minelli, PHA Sneath, BJ Tindall, P Trehane & P Tubbs. 1998. Draft BioCode (1997): the prospective international rules for the scientific names of organisms. *Taxon* 47: 127-150.
- Harvey PH, AJL Leigh Brown, JM Smith & S Nee (eds.). 1996. *New Uses for New Phylogenies*. Oxford University Press, Oxford.
- Huang CY, MA Ayliffe & JN Timmis. 2003. Direct measurement of the transfer rate of chloroplast DNA into the nucleus. *Nature* 422: 72-76.
- Janzen DH. 2004. Now is the time. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 731-732.
- Kellis M, BW Birren & ES Lander. 2004. Proof and evolutionary analysis of ancient genome duplication in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Nature* 428: 617-624.
- Kirchner J & Z Kaplan. 2002. Taxonomic monographs in relation to global Red Lists. *Taxon* 51: 155-158.
- Lack HW. 1998. Botanic gardens and the development of systematic botany – some reflections. *Museol. Sci.* 14, Suppl.: 41-47.
- Lammers TG. 1999. Plant systematics today: all our eggs in one basket? *Syst. Bot.* 24: 494-496.
- Landrum LR. 2001. What has happened to descriptive systematics? What would make it thrive? *Syst. Bot.* 26: 438-442.
- Lughada EN. 2004. Towards a working list of all known plant species. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 681-687.
- Mabberley DJ. 1995. *Plants and Prejudice*. Rijks Universiteit, Leiden.

- Michener CD & RR Sokal. 1957. A quantitative approach to a problem in classification. *Evolution* 11: 130-162.
- Orchard AE, WR Anderson, MG Gilbert, D Sebsebe, WT Stearn & EG Voss. 1996. Harmonized bionomenclature – a recipe for disharmony. *Taxon* 45: 287-290.
- Prather LA, O Álvarez-Fuentes, MH Mayfield & CJ Ferguson. 2004. Implications of the decline in plant collecting for systematic and floristic research. *Syst. Bot.* 29: 216-220.
- Raven PH. 2004. Taxonomy: where are we now? *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 729-730.
- Rivera MC & JA Lake. 2004. The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes. *Nature* 431: 152-155.
- Samper C. 2004. Taxonomy and environmental policy. *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* 359: 721-728.
- Scoble MJ. 2004. Unitary or unified taxonomy? *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* 359: 699-710.
- Smith GF & RR Klopper. 2002. A southern perspective on the ALL Species Project and the global taxonomic imperative. *Taxon* 51: 359-361.
- Sneath PHA. 1957. The application of computers to taxonomy. *J. Gen. Microbiol.* 17: 201-226.
- Soltis PS & DE Soltis. 2001. Molecular systematics: assembling and using the Tree of Life. *Taxon* 50: 663-677.
- Stoeckle M. 2003. Taxonomy, DNA, and the bar code of life. *BioScience* 53: 796-797.
- Stuessy TF. 1975. The importance of revisionary studies in plant systematics. *Sida* 6: 104-113.
- Stuessy TF. 1993. The role of creative monography in the biodiversity crisis. *Taxon* 42: 313-321.
- Stuessy TF. 1996. Are present sampling, preservation, and storage of plant materials adequate for the next century and beyond? Pp. 271-284 in: Stuessy TF & SH Sohmer (eds.), *Sampling the Green World: Innovative Concepts of Collection, Preservation, and Storage of Plant Diversity*. Columbia University Press, New York.
- Tautz D, P Arctander, A Minelli, RH Thomas & AP Vogler. 2003. A plea for DNA taxonomy. *Trends Ecol. Evol.* 18: 70-74.
- Thomas W (in press). *Monographs as inventories: the Flora Neotropica experience*. *Symbol. Bot. Upsaliensis*.
- Ventner JC, K Remington, JF Heidelberg, AL Halpern, D Rusch, JA Eisen, D Wu, I Paulsen, KE Nelson, W Nelson, DE Fouts, S Levy, AH Knap, MW Lomas, K Nealson, O White, J Peterson, J Hoffman, R Parsons, H Baden-Tillson, C Pfannkoch, Y-H Rogers & HO Smith. 2004. Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. *Science* 304: 66-74.
- Wheeler QD. 2004. Taxonomic triage and the poverty of phylogeny. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 571-583.
- Wilson EO. 2003. The encyclopedia of life. *Trends Ecol. Evol.* 18: 77-80.
- Wilson EO. 2004. Taxonomy as a fundamental discipline. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 359: 739.
- Wilson HD. 2001. Informatics: new media and paths of data flow. *Taxon* 50: 381-387.
- Wortley AH, JR Bennett & RW Scotland. 2002. Taxonomy and phylogeny reconstruction: two distinct research agendas in systematics. *Edinburgh J. Bot.* 59: 335-349.



## El enfoque del Proyecto Edén<sup>1</sup> para comprometer al público en la conservación

Sue Minter  
Directora de Colecciones Vivas,  
Eden Project, Reino Unido.  
sminter@edenproject.com



El Proyecto Edén es una de las empresas de jardines botánicos más excéntricas y exitosas del Reino Unido, gracias a su naturaleza interdisciplinaria, mediante la cual personas creativas de diversa formación se unen para

hacer llegar la innovación al corazón de su cultura. Su nombre obedece al mito del “Jardín del Edén” o “Paríso”, creencia presente en la cultura cristiana y muchas otras.

<sup>1</sup> <http://www.edenproject.com>

Se ha establecido en Cornwall, zona del extremo sur-occidental del Reino Unido, que goza de una fuerte industria turística por sus hermosos paisajes costeros, luego de haber visto entrar en decadencia sus industrias tradicionales —cantera, minería, pesca—, lo que produjo un alto desempleo y una elevada migración. Esto hizo a la zona acreedora de la Ayuda para el Desarrollo Regional de la Comunidad Económica Europea, en virtud de su objetivo 1. Dicha ayuda y la donación otorgada por la Comisión Milenio de la Lotería Nacional, permitieron crear un enorme jardín botánico y uno de los invernaderos más grandes del mundo, con un costo de 86 millones de libras esterlinas, en una antigua cantera de arcilla de porcelana. En 2001, su primer año de funcionamiento, los cerca de dos millones de veraneantes que visitaron el proyecto generaron 155 millones de libras esterlinas<sup>2</sup> a Cornwall. Ello implica la posibilidad de obtener 1,5 billones de libras esterlinas en una década, lo que transformaría al Proyecto Edén en uno de los mayores motores de desarrollo del Reino Unido. Al manejar directamente sus operaciones de ventas al detalle y servicios locales de alimentación, se están creando importantes cadenas de suministro. Además, al servir comida de calidad (no “charra”) y vender productos relacionados con los cultivos que se exhiben, se estimula a los visitantes a utilizar saludablemente su poder de compra en mejorar su salud, y producir cambios en el mercado de los productos derivados de las plantas. De este modo se involucra a los clientes en la conservación.

Edén está estructurado como una empresa social basada en la sociedad fiduciaria de beneficencia. Su misión es utilizar la horticultura, el arte, la actuación y la interpretación creativa para promover el cambio hacia un futuro mejor. Un “teatro vivo de plantas y personas”, cuya médula es la esperanza.

El Proyecto Edén no ha tenido reparos en ser “oportunista”. Al crear una alianza estratégica con la empresa constructora McAlpines y conseguir el apoyo del arquitecto de renombre mundial Nicholas Grimshaw, la profunda cantera de arcilla de porcelana se transformó en un formidable jardín botánico con las cúpulas geodésicas más grandes del mundo: una con la réplica de las zonas tropicales de clima húmedo; la otra, de clima cálido, reproduce las

zonas de clima mediterráneo. Pero Edén no es solamente un jardín botánico. También ofrece servicios de alimentación al enorme número de turistas que anualmente visita Cornwall, por lo general desde distancias considerables. Por ello, el proyecto necesitaba ser capaz de atraer a un nuevo tipo de turista, es decir, a quienquiera que estuviese de vacaciones y no sólo a los grupos sociales de mayores ingresos que normalmente visitan los museos y jardines botánicos; los isócronos<sup>3</sup> que se utilizan para estimar las cifras de visitantes se dejaron de lado. El Proyecto Edén no lo hizo bajando el nivel de sus exposiciones sino ampliándolas, mediante la inclusión del arte y la actuación, que son tradicionales en Cornwall, y enfocándose en la relación entre la gente y las plantas. De ahí viene el término “teatro vivo de plantas y personas”.

Los primeros planes para la muestra de productos derivados de las plantas fueron preparados por un equipo interdisciplinario de horticultores, educadores y personas de conocida trayectoria en el arte, la actuación y la publicidad. Las muestras van más allá de la réplica de hábitat, pese a que cada bioma tiene algo de ello e incluye hábitat humanos tales como la “calle” por la que se accede al **bioma de clima cálido** o la casa con jardín de Malasia en el de los trópicos húmedos... hasta grupos de plantas cultivadas.

Se trata de una gran innovación respecto de los jardines botánicos tradicionales, donde las plantas “comerciales” por lo general se cultivan como especímenes individuales. La propuesta de Edén es recrear la sensación de un cultivo a campo abierto. Cada exposición también entrega un mensaje o un tema desarrollado por el director de educación, como por ejemplo la diversidad genética o el comercio justo<sup>4</sup>. Posteriormente se puede participar en una discusión abierta en el que bullen las ideas interpretativas. Lejos de constituir una fórmula para crear incertidumbre, este método resulta porque la gente reconoce la idea que se impone, aceptándola como propia. El director artístico puede tener un gran rol en el *casting* de un artista o un actor, el de horticultura puede orientar y el equipo de diseño puede bosquejar y construir algo para complementar las plantas, algo que va mucho más allá de lo que hacen en muchos jardines botánicos.

Por lo general los artistas aportan un enfoque renovado a cualquier tema. Cuando están completamente

<sup>2</sup> \$ 170.500 millones.

<sup>3</sup> Que se realiza con un ritmo constante, con períodos de igual duración.

<sup>4</sup> “Comercio Justo” nació en Europa en la década del ‘60 como una alternativa frente a las desequilibradas relaciones comerciales entre el norte y el sur (mano de obra barata, productos de exportación, precios bajos). Su principio fundamental es garantizar a los productores una compensación justa por su trabajo, así como condiciones laborales dignas y respetuosas con el medio ambiente. Ver [http://www.setem.org/madrid/comercio\\_justo.htm](http://www.setem.org/madrid/comercio_justo.htm)

involucrados en el proceso interpretativo, más que cuando se les incluye posteriormente, pueden contribuir con una dosis adicional de significado, humor, provocación... y hay pruebas evidentes de que los visitantes “enganchan” con esto. Por ejemplo, en el **bioma de los trópicos húmedos**, el turista ingresa por la proa de un barco enorme. Allí, “el comerciante de los trópicos” muestra su cargamento y los productos que nos conectan con esas regiones. Contiene todo tipo de mensajes que aluden a las polémicas acerca de la bioprospección, la historia del “triángulo de la esclavitud”, la sobreexplotación forestal, etc. En la exhibición del chocolate se cuenta la historia del chocolate mediante unos criptogramas, “El tapiz de Mayeaux”, incluyendo su gran propiedad afrodisíaca. Afuera, en la exposición del té, un toldo diseñado como una hoja protege unos cajones con té que muestran aspectos de la ceremonia y el comercio de éste, con altoparlantes que reproducen voces de los trabajadores. Cerca de allí, formando parte de una plantación llena de árboles sombríos, hay poemas alusivos, impresos en pendones de lona.

La primera exposición que se consolidó dentro del Proyecto Edén fue la del **bioma de los trópicos húmedos**. El **bioma de clima cálido**, que aloja la flora del mediterráneo, se plantó justo antes de que el proyecto se inaugurara en 2000, y ha tardado más en completar su desarrollo. A pesar de que los británicos toman vacaciones en el mediterráneo, paradójicamente les ha resultado más difícil relacionarse con esta región. Las zonas tropicales se han vuelto familiares gracias a los programas de televisión, y el bioma que las representa en el jardín es más grande, lo que provoca la sensación de estar inmerso en el trópico. Esto nos llevó a determinar que el **bioma de clima cálido** necesitaba optimizar su decoración. Por tanto creamos una “calle” mediterránea pavimentada en terracota, la escenografía de la torre de una iglesia, un hermoso conjunto de portones de hierro forjado que dan a un patio florido, y entradas falsas a villas embellecidas con sus nombres en cerámica. Se creó la sensación de una intensa luz con un follaje que da sombra a la entrada, que hace irrumpir de lleno a una situación de mayor luminosidad. En la “zona de California”, el equipo de diseño y construcción montó la imagen de una motocicleta *Harley-Davidson* que parece surgir desde un camino en medio de un paisaje de flores silvestres. Esto les fascina a los niños, y a los visitantes de mediana edad o mayores les recuerda la película “Busco mi destino” y la California de los años 60. Con una cerca blanca de estacas puntiagudas, una casilla de correo estadounidense, un perchero con una montura de fin de siglo y mantas para caballos, el público “siente” que está en Ca-

lifornia. Los horticultores aportan una soberbia muestra de flores silvestres de California que transforma el arte en realidad. A medida que se completa la exposición, el aroma propio del follaje, estimulado por la luz ultravioleta que atraviesa la cubierta del bioma, provoca una sensación que a la gente le encanta.

Este bioma y sus climas son obviamente estacionales comparados con los de los trópicos húmedos. Muchos jardines botánicos simplemente aceptan que su mejor época es la primavera y no hacen algo al respecto. La exposición puede extenderse al resto del año si se recurre a las cosechas y a los productos derivados de las cosechas. Por ejemplo, generalmente cultivamos verduras durante el verano, y a principios de la primavera exhibimos productos importados desde España. Plantamos tomate, pimienta, tabaco, maíz y granos menores, algodón y maravilla de acuerdo a un patrón ornamental. El público capta perfectamente el vínculo de estas cosechas con su vida, lo que facilita transmitirle mensajes acerca del comercio e historias sobre su producción. Esto significa que para nosotros es esencial contar con un agrónomo que investigue y recopile los temas actuales del comercio y las semillas promisorias o provenientes de bancos genéticos internacionales. En invierno nos enfrentamos al desafío de presentar productos derivados de las cosechas, utilizando puestos de venta tipo mercado, con gran aceptación de parte del público. Otras iniciativas recientes incluyen una exhibición de flores secas importadas que muestran los hábitat de los que proceden, su cultivo, comercialización y distribución internacional. Este año veremos una exposición de las verduras de la primavera que tradicionalmente se recolectan a orillas de los caminos y constituyen un importante elemento de la dieta mediterránea; también los tubérculos que surgen en paisajes que se han quemado naturalmente. Otros elementos artísticos en este bioma incluyen acertijos como un enchufe grande de acero inoxidable dentro de un lecho de río seco con el mensaje enigmático “agua, agua, se está acabando...”. Con optimismo, algunos visitantes recordarán las severas normas de los hoteles para ahorrar agua durante las vacaciones.

Por lo general todo el proyecto tiene una exposición temporal abierta por un mes llamada “Respuestas al Edén” del South West Textile Group (grupo textil suroccidental) con cerca de 40 instalaciones dentro y en los alrededores del bioma. Muchas son divertidas, elemento que no debe ser menospreciado en ninguna exposición. Por ejemplo, al lado del enchufe hay una higuera, debajo de la cual hay una silla con un delicado sombrero, un vestido y unos guantes, dejados cuidadosamente para Eva,

como si en el Jardín del Edén “donde tradicionalmente se visten con una hoja de higuera... de haber tenido tiempo... a ella le hubiese gustado ponerse algunos accesorios... ese día...”.

Quienes visitan Proyecto Edén verán o escucharán representaciones ocasionales como “Cuentos de los cazadores de plantas”, que se desarrollan en la escenografía de un barco. Los turistas pueden ser abordados por cuentistas que relatan historias de plantas y personas, o encontrarse con guías desde carros ubicados al interior y en los alrededores de los biomas, que muestran los productos derivados de las plantas, o asistir a exhibiciones de títeres. Debido a que los visitantes en su mayoría están de vacaciones, les será grato reunirse y relajarse con estas representaciones, que son una excelente manera de involucrarse en estos temas. Entre las más recientes se incluye “El maíz extraordinario”, obra representada con títeres, en la cual se aborda la manipulación genética. Todo esto forma parte del programa “El Edén en vivo”.

El 2004, en las casi 80 exposiciones básicas del Proyecto Edén, se superpusieron cuatro temas sobre las estaciones: “La manía por los tubérculos” de marzo a mayo, “El poder de las flores” en julio y agosto, “La estación de los follajes” en septiembre y octubre, y “La época de los regalos”, cuyo lanzamiento tuvo lugar el 6 de noviembre, para celebrar el aniversario de la Lotería Nacional. Muchos jardines botánicos hacen presentaciones de temas estacionales, pero nuestros tópicos están diseñados en función de propósitos adicionales. La manía por los tubérculos conmemora la industria de los narcisos en Cornwall, que es la más grande del mundo. Podemos pintar el paisaje con colores que atraen a los turistas de comienzos de temporada. En el **bioma de clima cálido** creamos una enorme exhibición de tulipanes especialmente refrigerados para que produzcan flores de calidad bajo un ambiente protegido, y animado por cuentos de “tulipanmanía” y la búsqueda del tulipán negro. Entre las historias de conservación se incluye el trabajo que Flora y Fauna Internacional está haciendo en favor de la producción sustentable de tubérculos de campanillas de invierno en Turquía. “El poder de las flores” nos permite festejar el verano en Cornwall, cuando la mayoría de los otros jardines está —en el mejor de los casos— en primavera. Celebramos la cosecha de flores de la estación, como lavándulas y girasoles, y también nuestra experiencia en horticultura aplicada a interesantes mezclas de flores silvestres, muchas dañadas por las prácticas agrícolas, que constituyen una secuencia natural de los tubérculos tempraneros. La más grande presentación de flores de las praderas de Europa también se ha

desarrollado a partir de semillas y destaca temas de conservación de este hábitat.

“La estación de los follajes” nos permite celebrar la vida a un nivel diferente, por ejemplo, desde las alturas de follajes forestales. Puesta a prueba en 2004, esperamos capitalizar el hecho de que el **bioma de los trópicos húmedos** tendrá el follaje en cautiverio de mayor altura, sirviendo como enlace entre los científicos que trabajan en la biodiversidad en estas áreas. Resultan de especial interés para los niños las actuaciones de acróbatas de circo que se deslizan en cuerdas, disfrazados de diversos animales, reptiles e invertebrados. “La época de los regalos” tiene el propósito fundamental de atraer grandes muchedumbres en invierno, para contrarrestar la estacionalidad de la economía de Cornwall y crear empleos que se mantengan durante todo el año. Habrá una cancha gigante de patinaje en hielo y se invitará a 67.000 escolares, el doble de la cifra actual, para que la disfruten y celebren la estación mientras sus padres reflexionan, gozan de un tiempo con sus familias y recuerdan el sentido de regalar. En esta época el comercio estará especialmente orientado a los temas que están detrás de él, lo que con frecuencia olvidan los conservacionistas de las plantas.

El verano de 2003 también hicimos un gran esfuerzo para que el proyecto fuera mucho más amigable con los niños. Siempre se han ofrecido atracciones para los escolares, cerca de 200 al día, pero también es muy importante considerar a las familias durante las vacaciones escolares. En nuestro primer año, por ejemplo, presentamos desfiles de moda para niños en la exposición “índigo”. Sin embargo, ahora hay un nuevo apremio por traer a los niños al aire libre en el Reino Unido, del que generalmente se los excluye por temores de seguridad, al punto que el mundo natural se les ha vuelto ajeno y amenazador: ¡el 25% de los niños ha sido regañado por jugar al aire libre! Si a ello se suma la creciente práctica de actividades sedentarias “puertas adentro” ligadas al computador y la comida “chatarra”, estamos frente al riesgo de crear una generación obesa mucho menos sana que la generación de sus padres. Algunos jardines botánicos están ofreciendo exposiciones de educación y ciencia para niños, pero nosotros nos estamos centrande en ofrecer actividades presentadas en forma paralela a las exposiciones para adultos, o cerca de las áreas de comida. Se pueden hacer cambios muy simples en las exposiciones para adaptarlas a la perspectiva de un niño, por ejemplo, poner mirillas a su altura y construir atajos a la ruta de los padres. Algunas instalaciones especiales incluyen instrumentos musicales en forma de plantas, etiquetados con un entretenido nombre seudomusical, siguiendo



Foto 1 y 2. En la exhibición de plantas para uso biocombustible, los aficionados a la jardinería son introducidos en el tema del calentamiento global. Foto 3. Exposición de flores de El Cabo proporcionadas por el valle de las flores en Sudáfrica: un proyecto de conservación de flora y fauna internacional.

“La botánica fastidiosa” de Edward Lear<sup>5</sup>. Para niños de 10 a 16 años conseguimos el financiamiento de un programa de apoyo realizado por alumnos de 16 a 18 de edad, provenientes de la Escuela de Representaciones Artísticas. La obra exploraba los aspectos éticos y científicos de la ingeniería genética y se presentó a más de 2.000 niños en un acto que finalizaba con un debate. La actuación demostró ser una herramienta útil para plantear temas sociales y éticos complejos. Nuestro objetivo es estimular a los niños a que se sientan cómodos y seguros en un ambiente al aire libre, que aprendan a arriesgarse y a hacer ejercicios, que conozcan el origen de las cosas de las cuales dependen cada día, ¡lo mismo que sus padres!; las diferentes costumbres, que sepan sobre agricultura, y pasarlo bien.

Constantemente estamos evaluando las repercusiones de nuestras muestras con el personal, con los estudiantes y en colaboración con el Departamento de Educación de la Universidad de Exeter. Por ejemplo, cuando las historias del comercio cambian, terminamos con las exposiciones temporales, agregamos nuevas o las renovamos.

Entre los planes de expansión se incluye la construcción de un centro de recursos educativos, programado para abrir en agosto de 2005, el cual mostrará cómo las plantas y la fotosíntesis guían el planeta, y albergará los programas educativos públicos y de las escuelas, las exposiciones ambulantes y el acceso a internet. Diseñado sobre la base de la espiral logarítmica de las plantas de Fibonacci, el techo

de este centro estará recubierto de cobre con células fotovoltaicas que harán la fotosíntesis tal como lo hace el follaje de un árbol. En su interior, habrá exposiciones con mecanismos de relojería que mostrarán los productos y los beneficios de los ecosistemas que nos proporcionan las plantas.

En la Semana Santa de 2005 también abrirá sus puertas un “Teatro de la alimentación”, que constituirá nuestro centro de educación nutricional *in situ*. Funcionará como un café con transmisión de mensajes integrados, que podemos hacer pues controlamos la comida que se ofrece, contratando directamente el servicio de banquetería, el personal y los productos a minoristas, lo que implica que podemos ser consistentes en los mensajes que se transmiten en el Proyecto Edén, tanto en las exposiciones de plantas como en los productos derivados de las plantas que se consumen en los restaurantes y que se venden en la tienda, de origen fuertemente local y con un comercio justo o comunitario. El Proyecto Edén puede ofrecer esta consistencia únicamente porque ha integrado equipos contratados en el lugar.

Edén tiene sus ojos puestos en el futuro, mientras que muchos jardines botánicos asumen una historia tan antigua que al visitarlos el público se siente en el pasado, aún cuando tengan programas educativos y conservacionistas de avanzada. En este aspecto nos ayuda el diseño futurista de los biomas, que estimula a las personas a “pensar en futuro”, lo que resulta un buen indicador para el diseño de nuevos jardines botánicos. También resulta más

fácil proyectar iniciativas nuevas cuando se tiene como precedente un plan maestro paisajista.

Al reflexionar acerca de la efectividad del Proyecto Edén, yo consideraría los siguientes aspectos:

1. El grupo creativo interdisciplinario que escoge los temas de las exposiciones.
2. La combinación de una excelente horticultura con el valor agregado de lo artístico y del diseño en la representación.
3. La autenticidad y el carácter local de la información presentada en las exposiciones. Esto implica la realización de entrevistas a expertos en el ramo o en la producción comercial, y visitas a países extranjeros para que el personal, especialmente los horticultores, se empañen del ambiente de las plantas y sus temáticas.
4. El aporte de socios científicos, quienes a menudo nos dan contenido para nuestras exposiciones, como intercambio para poner sus trabajos en vitrina por nuestra habilidad.

Pero también hay por lo menos cuatro cualidades relacionadas con el “tono de voz” de las exposiciones:

**a. El humor.** No es necesario tratar en forma seria los temas serios para que se exprese claramente lo que se quiere transmitir. Por ejemplo, el famoso cocotero doble de las islas Seychelles es una palmera que está en grave peligro de extinción. Muchos jardines botánicos cultivan esta especie y suelen referirse a su reputación afrodisíaca, probablemente debido a su forma. El enfoque de Edén, jugando con esta reputación, ha sido producir un espectáculo musical casi victoriano, con bailarinas semidesnudas, mientras se mantiene una exposición donde la gente debe hacer cola, lo que le permite leer todo lo relativo al trabajo de conservación que estamos haciendo con esta especie: el apoyo a los acuerdos de reproducción para plantas endémicas en peligro de extinción. Asimismo, en nuestra exhibición de “Plantas alimenticias”, un caldero industrial gigante a carbón fabricado por el artista David Kemp, se conecta con una casa de vidrio común y corriente en la cual hay globos terráqueos puestos en cacerolas esperando servir de alimento: una representación del calentamiento mundial, que hace sonreír a las visitas cuando pasan delante de las plantas biocombustibles, que darían una solución potencial al problema.

**b. Las referencias literarias y de cine.** En la exhibición del barco mercante del trópico hay reminiscencias del libro “El corazón de las tinieblas”; en la representación de la moto *Harley-Davidson* se añora “Busco mi desti-

no”; algunas de las piezas de música recuerdan la botánica sin sentido de Edward Lear...

**c. Los efectos sensoriales** (especialmente aromas). Una de las exposiciones más populares del **bioma de clima cálido** es la presentación del perfume. En este caso, plantas aromáticas actúan como embajadoras de su especie a medida que se las toca y disfruta. El poder del aroma para producir emociones es fuerte y estamos trabajando con la compañía Quest para captar sus repercusiones. De igual manera esperamos investigar el efecto del color sobre el ánimo, en “La manía por los tubérculos”.

**d. La polémica y la conmoción.** Aunque no estamos especialmente interesados en la búsqueda de sensacionalismo, tampoco hemos estado en contra de las polémicas y somos conscientes de que hay muchas cosas chocantes en las relaciones humanas con las plantas y sus derivados, así como con los servicios que nos brindan las plantas, desde la falta de equidad en el acceso a los medicamentos hasta el genocidio en las guerras por los recursos. Una polémica reciente fue la provocada por nuestra decisión de invitar a un grupo de artistas



Foto 4. El Proyecto Edén se distingue por sus cultivos hortícolas. Aquí, lavanda y cáñamo para la producción de fibra.

<sup>5</sup> Poeta y pintor inglés (1812-1888) conocido por su ingenio.



Foto 5. Esta Harley-Davidson disimula una fea caja de interruptores en la exhibición de flores silvestres de California, para quienes recuerdan la película "Busco mi destino".

Foto 6. Puestos de mercado con productos hortícolas y comerciales en el invierno.



urbanos de *graffiti* para que participara en "respuestas al Edén" decorando nuestros estacionamientos con restos de automóviles, buses y casas rodantes comprados especialmente con ese propósito; aún no han acabado las discusiones al respecto... Otro ejemplo fue la galería de casas rodantes presentada en las vacaciones de verano, que ofrecía una mirada de soslayo e irónica a las postales, porque las que se refieren a los "antejardines del Reino Unido" o los "alrededores de Essex" se distancian un poco de la realidad.

¿Cómo pensamos continuar? El Proyecto Edén espera conseguir fondos para un tercer bioma, **trópicos áridos**, que forma parte de la propuesta original, pero no logró financiamiento. Éste será el más grande de los desafíos del pro-

yecto, y con seguridad conmocionará a la gente con los temas sociales a los que se referirá y con el material acerca de las plantas. Es en los trópicos áridos donde se presentan algunos de los más grandes problemas de conservación, donde el tema del uso de los recursos es grave, particularmente del agua, y donde su mal uso implica hambruna, muerte y guerras por los recursos. Pero también se trata de un área de enormes riquezas culturales, de un comercio lleno de colorido, de creatividad, y es la cuna de grandes culturas y de las grandes religiones del mundo. En síntesis, palmeras y cactus en peligro de extinción, y mucho, mucho más.

\*Texto traducido del inglés por Eleonora Ramos Vera.

## Arquitectura y diseño al servicio de las plantas: El Jardín Botánico de Sóller, un modelo útil de conservación *ex situ*

Josep Lluís Gradaille Tortella  
Director del Jardí Botànic de Sóller,  
Mallorca, España.  
jlgradaille@jardibotanicdesoller.org

El Jardín Botánico de Sóller (JBS) es una institución científica, educativa, cultural y de ocio, abierta a todos los ciudadanos y destinada al servicio de la sociedad. Le corresponde ser centro de estudio de las plantas en toda su complejidad, y de las propiedades por las cuales pueden ser útiles al hombre. Las colecciones bien documentadas de plantas vivas son su base principal y junto con el Banco de Germoplasma y el Herbario hacen posible el estudio de su desarrollo y dan a conocer sus exigencias biológicas. Esto permite su conservación y la realización de trabajos orientados a un mejor conocimiento y aprovechamiento por parte del hombre.

La condición insular de las Baleares y su situación geográfica—el archipiélago más occidental del Mediterráneo— confieren identidad propia al JBS. Es un jardín botánico dedicado a la conservación de la flora endémica, microareal y de especies en regresión, en especial de las Baleares, el resto de las islas mediterráneas y sus áreas continentales de influencia. Situado en la isla de Mallorca (3.640 km<sup>2</sup>), la mayor del archipiélago, y en el corazón de la Sierra de Tramuntana de unos 70 km de longitud, el Jardín Botánico de Sóller es el resultado de una experiencia iniciada en el año 1985, un modelo diseñado para conservar la flora insular más amenazada, basado en la peculiaridad de sus islas.

### EL MEDITERRÁNEO Y SU SINGULARIDAD

La singularidad del Mediterráneo ha marcado las pautas del diseño del JBS. Es el resultado de su historia geológica, de los frecuentes cambios climáticos y de la complejidad del relieve. Todo ello ha originado un clima con inviernos moderadamente fríos y húmedos, y veranos secos y calurosos, con suelos determinantes de la composición específica de la vegetación y de la disponibilidad del agua, y sobre todo especiación: un centenar de endemismos. El 7% de unos 1.450 taxones es endémico (Tabla 1), 55 de

Tabla 1. Especiación en el Mediterráneo: centros de biodiversidad más importantes (Centres of Plant Diversity (WWF & IUCN 1994)).

Islas	Taxones	Endemismos (%)
Baleares	1.450	7
Córcega	2.524	12
Cerdeña	2.054	10
Sicilia	3.000	10
Creta	1.820	10
Chipre	1.570	6



Foto 1. Área rupícola con gran variedad de especies.

los cuales tienen un elevado grado de amenaza, y 15 de ellos se encuentran amenazados con categoría CR (peligro crítico).

Los factores antes mencionados han provocado también una singularidad paisajística en el archipiélago, con cinco islas muy bien diferenciadas. Las gimnéticas Mallorca, Menorca y Cabrera al norte, y las pitiusas Ibiza y Formentera al sur<sup>1</sup>. En este paisaje, los hábitat florísticos están condicionados por tres factores:

- **El relieve**, muy variado, fundamentalmente rocoso, con acantilados y riscos en el norte y prados y llanos en el centro.
- **La exposición solar**, que condiciona determinadas especies en las zonas umbrías de poniente.
- **La altitud**, especies exclusivas de la zona montañosa más elevada, Puig Major (1.440 msnm), y especies exclusivas del litoral rocoso o arenoso.

## AMENAZAS

Tanta riqueza florística y tanta singularidad paisajística empiezan a ser amenazadas en la década del '60, cuando en la comunidad balear se inicia un fuerte desarrollo turístico, que en poco tiempo puso en peligro un buen número de especies. Muchos son los factores que nos han conducido a esta situación, pero siempre con un denominador común: el ser humano. La presión en todas las áreas del litoral, transformadas en hoteles, apartamentos o urbani-

zaciones, ha sido tan fuerte que en ocasiones ha hecho desaparecer no sólo especies, sino también toda la comunidad y el hábitat que las acogía.

Los incendios han contribuido de forma importante en el cambio de la fisonomía del paisaje. Unas veces fortuitos, por negligencia humana, y otras por una insana especulación de terrenos, han ocasionado siempre desaparición de especies, erosión, modificación del paisaje. Lo mismo ha sucedido con el cambio producido por las prácticas agrícolas y ganaderas, con el sobrepastoreo en las zonas de montaña y el éxodo del interior hacia la costa: abandonando los cultivos para obtener una mayor renta en la construcción o en los servicios del litoral.

Hay que añadir la introducción de especies alóctonas, unas 300. En la actualidad muchas de ellas se comportan como invasoras, desplazando y amenazando un buen número de endemismos, con el consiguiente cambio de paisaje.

## JARDÍN BOTÁNICO: INSTRUMENTO DE CONSERVACIÓN EX SITU

La constante pérdida de biodiversidad ha obligado a cambiar los modelos históricos de jardín botánico. Aparecieron en el siglo XVI como jardines simples donde se cultivaban especies para la investigación de sus propiedades medicinales. Luego se crearon los de aclimatación, para dar cabida a la gran variedad de nuevas especies provenientes de América. Se continuó con los jardines sistemáticos de la Ilustración (s. XVIII), con estructuras geométricas destinadas fundamentalmente al estudio de la botánica; se formaron colecciones sistemáticas y se aplicaron y discutieron los métodos de Tournefort (1656-1708) y de Linneo (1707-1778). Es cuando aparece la nomenclatura binominal.

Actualmente, la sociedad reclama jardines botánicos orientados a la conservación de la biodiversidad vegetal (Foto 1), donde lo más importante es la creación de microhábitat que puedan dar cabida a la gran diversidad de especies, garantizando su supervivencia. En el último Plan de Actuación para los Jardines Botánicos de la Unión Europea, se les recomienda y solicita a todos que centren sus esfuerzos en el cultivo y la conservación de su propia flora regional, en un intento de salvaguardar el patrimonio vegetal. Más de las

<sup>1</sup> Los griegos las denominaron gimnéticas, de gimnos = desnudo ("las islas de los hombres desnudos"), y pitiusas, pobladas de pinos.

tres cuartas partes de los jardines botánicos existentes en la actualidad (77%) se han desarrollado durante el siglo XX y la gran mayoría de ellos está orientada a la conservación.

El Jardín Botánico de Sóller se ha unido al modelo de conservación promovido por la Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (BGCI). Se trata del método integrado de conservación *in situ*–*ex situ*. Conservación *in situ* que estudia los factores de regresión de las especies amenazadas y apoya los procesos para la protección y manejo de los ecosistemas a los que pertenecen. Conservación *ex situ* que crea colecciones en el propio jardín botánico.

Por lo tanto, el jardín botánico aparece como instrumento casi indispensable para la conservación *ex situ*. Ésta se basa en dos colecciones que garantizarán la supervivencia de las especies: por una parte las de germoplasma: semillas, polen, tejidos, etc., y por otra, las colecciones de planta viva. Con estas últimas se persiguen fundamentalmente tres objetivos:

- **Conservación** de la biodiversidad vegetal.
- **Investigación** en el campo de la biología de la conservación.
- **Divulgación**, conocimiento, educación y concienciación de la riqueza vegetal y de su grado de amenaza para poder contribuir a su conservación.

## ARQUITECTURA Y DISEÑO AL SERVICIO DE LAS PLANTAS

Para cumplir estos tres objetivos es necesario crear estructuras y microhábitat capaces de albergar una gran variedad de plantas. Se necesita conservar todas las especies amenazadas y las de su entorno, que evidentemente corresponden a diferentes ecosistemas, altitudes y hábitat. Se deben conservar en un espacio limitado –el del jardín botánico–, que inicialmente tiene una estructura regular y homogénea. Es necesario romper esta homogeneidad y dotar a este reducido espacio de las condiciones necesarias para conseguir que cada especie, provenga del hábitat que provenga, pueda cumplir su ciclo biológico completo: nacer, crecer, florecer y fructificar. La supervivencia de la especie en el jardín depende de su ciclo vital.

El método a seguir está basado en dos premisas: observar e imitar.

<sup>2</sup> Apto para plantas que crecen en las fisuras de las rocas.



Foto 2. Construcción de volúmenes mediante muros de piedra en seco.

- **Observación** de cada especie en su hábitat natural.
  - Estudio del sistema abiótico: orografía del microhábitat, orientación y grado de exposición solar, altitud y grado de protección o exposición a cambios de temperatura o ventiscas, tipo de suelo (ácido, básico, rocoso, fisurícola<sup>2</sup>, árido, arcilloso, húmedo, etc.).
  - Estudio del sistema biótico: condiciones ecológicas del hábitat, vegetación asociada, biología reproductiva de la especie, fenología, forma vital, etc.

Esta observación, lo más completa posible, permitirá obtener los datos necesarios para reproducir los hábitat en el propio jardín, en un intento de imitar la naturaleza.

- **Imitación:** arquitectura y diseño al servicio de las plantas, concepto indispensable para la creación de un jardín botánico de conservación, contrario al concepto aplicado en los jardines ornamentales, donde las plantas suelen estar al servicio de la arquitectura y la ornamentación.
  - Elementos básicos: tierra, plantas, rocas y agua. El jardín estará formado por estos cuatro elementos fundamentales. Todos los demás materiales deben estar subordinados a ellos. El jardín botánico es la tierra, los caminos, las rocas, las escaleras, el agua y las plantas, cada elemento jugando su papel, todos en armonía, como si se hubiera domesticado la naturaleza.
  - Diseño de estructuras de "ajardinamiento". La creación de volúmenes por encima del nivel de circulación, caminos o senderos (Foto 2) en base a muros de piedra en seco, bloques de piedra formando rocallas y



Foto 3. Disposición de la vegetación.



Foto 4. Una charca por debajo del nivel de circulación.

configurando pequeños rellanos o pradecillos, facilita la formación de los diferentes hábitat.

Al ser volúmenes de nueva creación por encima del nivel de circulación<sup>3</sup>, pueden ser orientados según las necesidades. Su exposición, altura y disposición permitirán conseguir solanas y umbrías según el tipo de hábitat que se persiga. El sistema proporciona múltiples ventajas (Foto 3): permite en primer lugar la posibilidad de albergar un mayor número de especies, las rupícolas<sup>4</sup> y fisurícolas estarán en los muros verticales y los planos inclinados permitirán escalonar las siembras. Cada volumen da la posibilidad de tener un sustrato diferente, más ácido o más básico, con más o menos drenaje, etc., en función del tipo de especies que vaya a albergar. Por otra parte, el campo de observación de las especies queda notablemente aumentado con el sistema, la mayoría a

nivel de la vista, cosa que suele suceder también en la naturaleza.

La creación de volúmenes por debajo del nivel de circulación (Foto 4) permite hacer charcas y humedales alimentados por diferentes vías de circulación de agua entubadas bajo tierra, o en canaletas visibles, que discurrirán por los diferentes hábitat húmedos del jardín, alimentando a cada uno de ellos según sus necesidades (Foto 5). Para conseguir la supervivencia y buen desarrollo de las especies acuáticas resultará indispensable que la circulación del agua sea continua, de curso lento, y que de vez en cuando “se rompa” mediante un salto de agua, es decir, se oxigene.

Es muy útil que en las charcas o remansos, las plantas convivan con todos los demás componentes del ecosistema, flora y fauna; la transparencia del agua indicará el equilibrio y buen estado de salud de la charca. El conjunto de volúmenes descritos configurará a la vez los itinerarios y vías de circulación en el jardín (Foto 6), dando lugar a unidades de espacio vegetal bien diferenciadas que se irán fusionando unas con otras a medida que se avanza por el jardín. El visitante tendrá en cada momento un espacio de visión concreto y la necesidad de seguir explorando el jardín sin dejarse conducir por él.

### RESULTADO: INTEGRACIÓN

El resultado final será la estructuración de un jardín con diversos microhábitat perfectamente integrados en el paisaje (Foto 7), en los que se ubicará cada especie en función de los datos obtenidos en la “observación”, con un determinado número de pies<sup>5</sup> y con la vegetación asociada que le corresponda, siempre en un intento de “imitar” lo observado. En ocasiones, la especie que se había previsto en un lugar determinado, al dispersarse sus semillas por el jardín, acabará arraigando su presencia en otro lugar, el más idóneo para ella dada su nueva situación, y lo hará así porque habrá encontrado una importante variedad de microhábitat donde elegir. En pocos años, cada especie se establecerá en el hábitat más próximo a su ambiente natural.

<sup>3</sup> Nuevas estructuras, volúmenes desde el nivel de la tierra (circulación), los caminos, los senderos, hacia arriba.

<sup>4</sup> Que viven en las rocas.

<sup>5</sup> En España se usa frecuentemente la palabra “pie” para unidad de planta.



Foto 5. Canaleta proveniente de charca elevada.



Foto 6. Vías de circulación en el espacio vegetal.



Foto 7. Integración en el paisaje.

Habremos conservado las especies y obtenido un espacio lúdico que invite a la reflexión. El JARDÍN habrá resultado ser el elemento de transición, integrador entre el hombre y la naturaleza, entre su hábitat y el hábitat natural.

<sup>6</sup> Conjunto de piedras ordenadas.

### RESUMEN

- Un jardín botánico: **el diseño al servicio de las plantas.**
- Con un objetivo: **trasladar la naturaleza al jardín.**
- Con un método: **observar y tratar de imitar la naturaleza.**

### COMENTARIO

El modelo de jardín botánico de conservación presentado se entiende como un modelo perfectamente útil para el Jardín Botánico Chagual. El que este jardín sea muy heterogéneo, con taludes, sectores planos, pendientes suaves y fuertes, afloramientos rocosos, etc., favorece la ejecución del modelo de diseño descrito. Cuando ya existen diversos nichos ecológicos, el trabajo está “medio hecho”. Basta reconducir diferentes aspectos de estos nichos, para que con intervenciones puntuales se adapten a las necesidades que se precisan. Las rocallas<sup>6</sup>, los bancales, los muros de contención elaborados con los productos de la región, la canalización y aprovechamiento de los recursos hídricos, pueden enriquecer el paisaje y a la vez contribuir al cultivo, conservación y muestra de este importante número de especies con que la naturaleza les ha dotado.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bramwell D. 2002. How many plant species are there? Plant Talk 28. Hawaii.
- Jackson PW. 2001. An internacional review of *ex situ* plant collections of the Botanic Gardens of the world. Botanic Gardens Conservation International. Richmond.
- Wyse J & LA Sutherland. 2000. Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (BGCI), U.K.
- Sáez L & JA Rosselló. 2001. Llibre vermell de la Flora Vasculard de les Illes Balears. Documents Tècnics de Conservació. II época, nº 9. Palma de Mallorca.

## FLORA DEL JARDÍN BOTÁNICO CHAGUAL

Liliana Iturriaga, botánica paisajista,  
 tunquen@terra.cl  
 Virginia Mcrostie, licenciada en arqueología,  
 maihuenia@hotmail.com  
 Jean Paul de la Harpe, biólogo,  
 info@abtao.cl

### ANTECEDENTES GENERALES

El Jardín Botánico Chagual se ubica en la zona central de Chile, Región Metropolitana. Aquí se concentra la mayor densidad poblacional del país, por lo que la naturaleza ha estado sometida hace siglos a una creciente intervención antrópica. Como consecuencia observamos un serio cambio en nuestro paisaje, principalmente por la conversión de los hábitat naturales para el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas, urbanísticas e industriales, además de una alta incidencia de incendios provocados por el hombre, y extracción de árboles y arbustos. Sumado a lo anterior hay que considerar el efecto que producen las especies introducidas, tanto de plantas como de animales, en nuestro medio natural (Fuentes & Prena-feta 1988).

La flora original del área corresponde a una de tipo chileno-mediterránea, cuya relevancia consiste en presentar altas tasas de endemismo: el 46% es endémica de Chile, de un total de 2.500 especies de plantas vasculares nativas (Arroyo & Cavieres 1997). En Chile central es donde la riqueza de especies alcanza un máximo en

cuanto a tipos de vegetación, y es aquí donde también se halla el mayor número de plantas vasculares (Arroyo *et al.* 2003). No obstante, la intensa y continua presencia antrópica ha significado un alto grado de alteración de las comunidades vegetacionales nativas, cuyos individuos se presentan discontinuamente entre las especies introducidas.

### OBJETIVOS

#### General:

- Elaboración de un catastro taxonómico y espacial de las especies vegetales presentes en el área de estudio (realizado el año 2003).

#### Específicos:

- Evaluar la composición florística del área.
- Determinar la presencia de especies nativas relevantes desde la mirada de su conservación y valor ornamental.
- Identificar los sectores donde se encuentran las especies vegetales más relevantes.

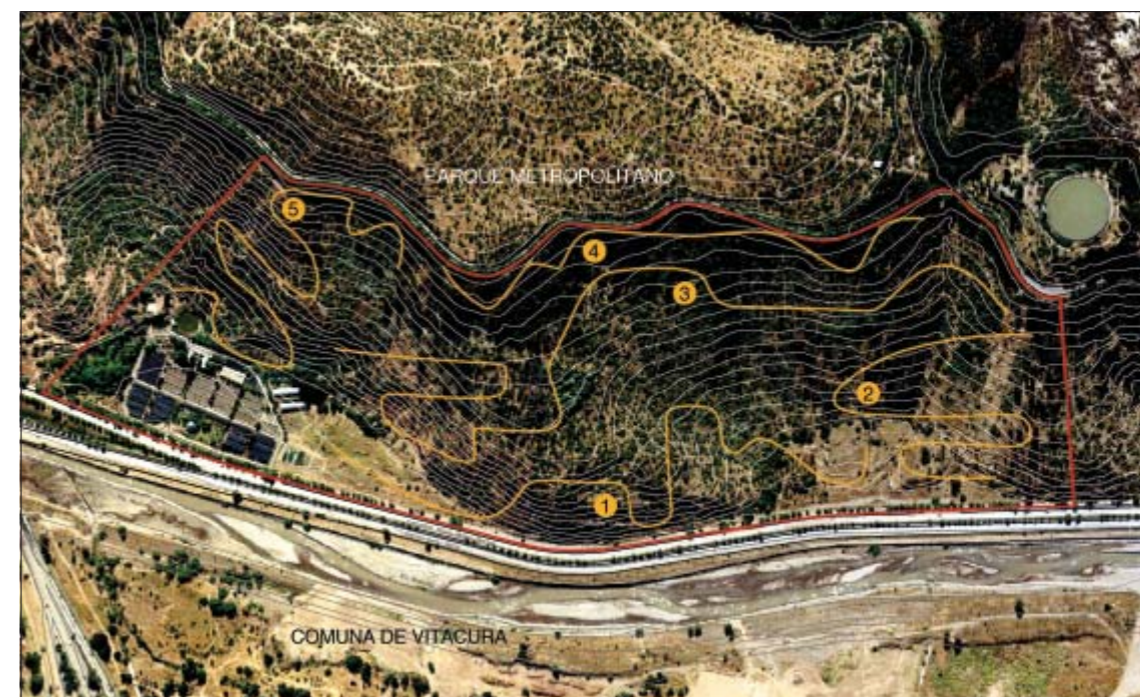


Figura 1. Transectos.

1. Ladera sur, norte del vivero  
 2. Quebrada

3. Altos de la quebrada  
 4. Periferia camino asfaltado  
 5. Sendero cercano a vivero

### DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

El Jardín Botánico Chagual se encuentra emplazado en la ladera suroeste del Parque Metropolitano, en el cerro San Cristóbal (33°25'NE), comuna de Vitacura, Región Metropolitana, con una superficie de 33,9 ha (Fig. 3). El cerro San Cristóbal es una estribación de la Cordillera de los Andes que avanza sobre Santiago, con una altura de 867 msnm y de 285 m sobre el nivel del río Mapocho (Navas 1979); su composición geológica es de sienita compuesta. En las laderas abruptas del sector se proyecta el jardín botánico, lugar con una alta tasa de meteorización y en consecuencia una erosión continua del cerro.

Bioclimáticamente, el sector proyectado para el Jardín Botánico Chagual presenta un clima mediterráneo con precipitaciones en los meses fríos (invierno), y con un período de déficit hídrico que coincide con los meses de verano (Di Castri & Hajek 1976). Las zonas de clima mediterráneo en el mundo son cinco: Chile central, SO de California, la cuenca mediterránea, El Cabo de Sudáfrica y

el SE de Australia, las que en conjunto constituyen el 5% de la superficie terrestre y albergan casi el 20% de la flora mundial. Chile central está designado entre los 25 lugares denominados *hotspots*; éstas son áreas que contienen una gran riqueza de especies y/o número de especies endémicas sobresalientes respecto del promedio (Arroyo *et al.* 2003).

### METODOLOGÍA

El trabajo en terreno se realizó en noviembre de 2003, lo cual permitió observar árboles, arbustos y especies herbáceas cuya floración coincide con la primavera avanzada. Se realizaron cinco transectos en función del perímetro y la topografía del jardín. Asimismo se determinaron 14 sectores, de acuerdo con las especies vegetales más representativas.

Para el estudio de la riqueza de la flora vascular se identificaron las especies, y el material se herborizó y determinó en laboratorio con ayuda de la bibliografía pertinente. La nomenclatura de las plantas se basó en Marticorena & Quezada (1985) y literatura taxonómica más

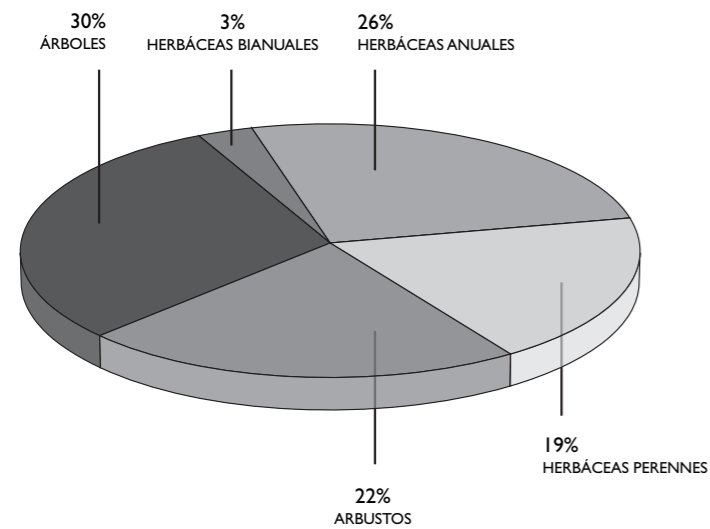


Figura 2. Relación porcentual de la flora vascular del Jardín Botánico Chagual.

reciente. Los nombres vulgares se obtuvieron de Navas (1973, 1976, 1979), Hoffmann (1979, 1983), Gajardo (1994) y Brickel (1997).

En el análisis de las formas de crecimiento se consideraron los siguientes tipos:

**Árbol:** planta leñosa que presenta uno o pocos ejes principales. **Arbusto:** planta leñosa ramificada desde la base. **Hierba perenne:** planta que rebrota en primavera; posee órganos subterráneos de reserva alimenticia. **Hierba anual:** planta que sobrevive a la estación desfavorable sólo mediante sus semillas. **Hierba bianual:** planta que vive más de un año, pero menos de dos. **Maleza:** aquella planta que compite directamente con las especies cultivadas (Matthei 1995).

## RESULTADOS

La flora vascular del área estudiada presenta 112 especies vegetales. La Tabla 1 muestra cada nombre científico, familia, nombre común, transectos, forma de crecimiento, condición, categoría de conservación, lugar de origen y tipo de maleza. Respecto de la condición de la flora, podemos decir que 73 especies son introducidas o asilvestradas y 39 son nativas, de las cuales el 46% son endémicas de Chile, como *Colliguaja odorifera*, *Conanthera campanulata*, *Cryptocarya alba* y *Malesherbia linearifolia*.



Foto 1. Vista noroeste desde el vivero.

En relación a las formas de crecimiento, predominan las especies vegetales herbáceas: herbáceas anuales (29 especies), herbáceas perennes (21) y tres especies bianuales. Cabe destacar que se encuentran presentes en Chagual 25 arbustos, de los cuales el 87% son nativos, y 34 árboles, Tabla 1; Fig. 2.

El transecto 5 presenta el mayor porcentaje de flora nativa en su composición florística. Está ubicado en las cercanías del vivero y posee un total de 20 especies vegetales, 12 de las cuales son nativas (Tabla 1; Fig. 1). De las 112 especies presentes, un 42% son consideradas malezas (Villarias 1992), de las cuales el 87% son introducidas (Tabla 1).

Después de realizar los transectos se georreferenciaron las especies y sectores más relevantes del área (Fig. 4).



Foto 2. Vista desde la parte superior de la quebrada (transecto 2).

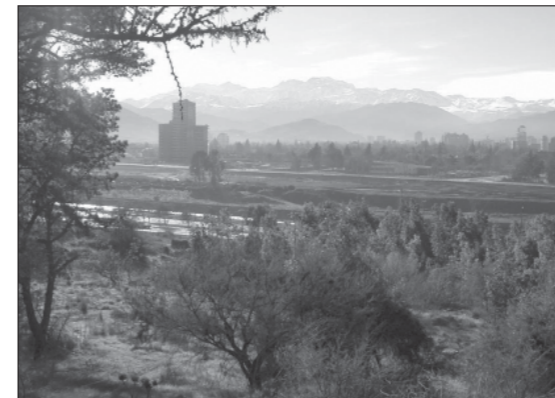


Foto 3. Vista oriente desde el transecto 5, cercano al vivero.

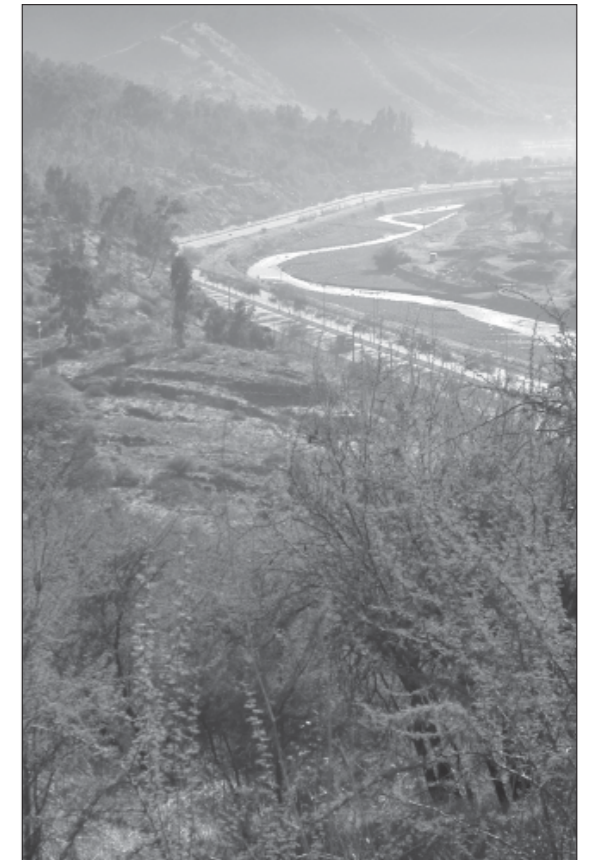


Foto 4. Vista nororiental desde lo alto del transecto 5.



Foto 5. Panorámica del vivero desde el camino superior asfaltado (Los Peumos), transecto 4.



Tabla I. Lista de la flora vascular del Jardín Botánico Chagual.

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	NOMBRE COMÚN	T1	T2	T3	T4	T5	FORMA DE CRECIMIENTO	CONDICIÓN	C C	LUGAR DE ORIGEN	TIPO DE MALEZA
<i>Acacia caven</i>	Mimosaceae	espino	x		x	x		árbol	nativo	F	Chile	
<i>Acacia dealbata</i>	Mimosaceae	aromo	x			x		árbol	introducido	F	Australia	maleza
<i>Acacia melanoxylon</i>	Mimosaceae	aromo australiano	x			x		árbol	introducido	F	Australia	maleza
<i>Ailanthus altissima</i>	Simaroubaceae	árbol del cielo	x		x			árbol	introducido	S	China y Japón	
<i>Aristolelia chilensis</i>	Elaeocarpaceae	maqui	x					arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Avena barbata</i>	Poaceae	avenilla		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Avena fatua</i>	Poaceae	avenilla		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Azara celsastrina</i>	Flacourtiaceae	corcolén	x					arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Baccharis linearis</i>	Asteraceae	romerillo	x				x	arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Baccharis pingraea</i>	Asteraceae	chilquilla		x			x	arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Brachychiton populneum</i>	Sterculiaceae	peral del Japón	x					árbol	introducido	S	Australia	
<i>Brassica campestris</i>	Brassicaceae	yuyo	x					hierba anual	introducida	F	Europa	maleza muy seria
<i>Bromus berterianus</i>	Poaceae	pasto largo		x				hierba anual	introducida	F	América del Sur	maleza común
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Caesalpiniaceae	tara		x				arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Brassicaceae	bolsita del pastor	x					hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinaceae	casuarina					x	árbol	introducido	S	Australia y Borneo	
<i>Centaurea melitensis</i>	Asteraceae	cizaña		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza muy seria
<i>Cestrum parqui</i>	Solanaceae	palqui	x				x	arbusto	nativo	F	Chile	maleza tóxica
<i>Chamomilla recutita</i>	Asteraceae	manzanilla					x	hierba anual	introducida	F	Europa	
<i>Chenopodium album</i>	Chenopodiaceae	cenizo					x	hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Chenopodiaceae	paico					x	hierba perenne	nativa	F	Chile	maleza común
<i>Cichorium intybus</i>	Asteraceae	chicoria	x					hierba anual	introducida	S	Europa	
<i>Colliguaja odorifera</i>	Euphorbiaceae	colliguay	x				x	arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Conanthera campanulata</i>	Tecophilaceae	viudita		x				hierba anual	endémica	F	Chile	
<i>Convolvulus arvensis</i>	Convolvulaceae	corregüela	x	x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Convolvulus sp.</i>	Convolvulaceae	corregüela		x				hierba anual	introducida	S		
<i>Crataegus laevigata</i>	Rosaceae	peumo alemán		x	x			árbol	introducido	S	América del Norte	
<i>Cryptocarya alba</i>	Lauraceae	peumo					x	árbol	endémico	F	Chile	
<i>Cryptomeria japonica</i>	Taxodiaceae	criptomeria		x				árbol	introducido	S	China y Japón	
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	ciprés macrocarpa		x	x			árbol	introducido	S	California	
<i>Cuscuta suaveolens</i>	Cuscutaceae	cabello de ángel		x				hierba anual	nativa	F	Chile	planta parásita
<i>Cynara cardunculus</i>	Asteraceae	cardo penquero	x			x		hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza muy seria
<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	bermuda		x				hierba perenne	introducida	F	África tropical	maleza principal
<i>Cyperus eragrostis</i>	Poaceae	cortadera		x				hierba perenne	nativa	F	Chile	maleza muy seria
<i>Cyperus sp.</i>	Poaceae	cinta de agua		x				hierba perenne	introducida	S		
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	zanahoria silvestre		x				hierba bianual	introducida	F	Europa	maleza muy seria

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	NOMBRE COMÚN	T1	T2	T3	T4	T5	FORMA DE CRECIMIENTO	CONDICIÓN	C C	LUGAR DE ORIGEN	TIPO DE MALEZA
<i>Eleagnus angustifolia</i>	Eleagnaceae	olivo de Bohemia		x				árbol	introducido	S	Asia central y sur de Europa	
<i>Ephedra chilensis</i>	Ephedraceae	pingo-pingo		x				arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Eragrostis virescens</i>	Poaceae	poa	x	x				hierba perenne	nativa	F	Chile	
<i>Erodium cicutarium</i>	Geraniaceae	alfilerillo	x					hierba anual	introducida	F	Europa mediterránea	maleza muy seria
<i>Escallonia illinita</i>	Escalloniaceae	barraco		x				arbusto	endémico	S	Chile	
<i>Eschscholzia californica</i>	Papaveraceae	dedal de oro	x				x	hierba perenne	introducida	F	California	maleza común
<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	eucalipto					x	árbol	introducido	S	Australia	
<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae	eucalipto		x				árbol	introducido	S	Australia	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Myrtaceae	eucalipto	x					árbol	introducido	S	Australia	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	Euphorbiaceae	pichoga		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Euphorbia pepus</i>	Euphorbiaceae	pichoga		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Foeniculum vulgare</i>	Apiaceae	hinojo	x					hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Fraxinus excelsior</i>	Oleaceae	fresno	x			x		árbol	introducido	S	Europa y Asia Menor	
<i>Fraxinus ornus</i>	Oleaceae	orno	x					árbol	introducido	S	Europa y Asia	
<i>Galega officinalis</i>	Fabaceae	galega	x	x	x			hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Gochnatia foliolosa</i>	Asteraceae	mira-mira		x			x	arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	grevillea		x				árbol	introducido	S	Australia	
<i>Helenium glaucum</i>	Asteraceae	poquil		x				hierba anual	endémica	F	Chile	maleza común
<i>Hordeum murinum</i>	Poaceae	flechilla		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Isatis tinctoria</i>	Brassicaceae	glasto	x					hierba bianual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Lactuca serriola</i>	Asteraceae	lechuguilla		x	x			hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Ligustrum lucidum</i>	Oleaceae	ligustro		x			x	árbol	introducido	S	China, Japón y Corea	
<i>Lithrea caustica</i>	Anacardiaceae	litre	x					árbol	endémico	F	Chile	
<i>Loasa tricolor</i>	Loasaceae	ortiga caballuna					x	hierba anual	nativa	S	Chile	
<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	ballica italiana		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Lolium perenne</i>	Poaceae	ballica		x				hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Lophochloa cristata</i>	Poaceae	festuca					x	hierba anual	introducida	F	Europa	maleza
<i>Lythrum hyssopifolia</i>	Lythraceae	hierba del toro		x				hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Madia sativa</i>	Asteraceae	melosa		x				hierba anual	introducida	F	California	maleza común
<i>Malesherbia linearifolia</i>	Malesherbiaceae	estrella azul	x					hierba perenne	endémica	F	Chile	
<i>Marrubium vulgare</i>	Lamiaceae	toronjil cuyano	x				x	hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza
<i>Maytenus boaria</i>	Celastraceae	maitén	x	x	x	x		árbol	nativo	F	Chile	
<i>Melilotus albus</i>	Fabaceae	meliloto		x				hierba anual	introducida	F	Europa y Asia	maleza común
<i>Melilotus indicus</i>	Fabaceae	meliloto					x	hierba anual	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Morus nigra</i>	Moraceae	morera		x				árbol	introducido	S	Persia y Asia Menor	
<i>Moschardia pinnatifida</i>	Asteraceae	almizcle					x	hierba anual	endémica	F	Chile	
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	Polygonaceae	quilo	x					arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Myoporum laetum</i>	Myoporaceae	mioporo					x	árbol	introducido	S	Nueva Zelandia	

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	NOMBRE COMÚN	T1	T2	T3	T4	T5	FORMA DE CRECIMIENTO	CONDICIÓN	C C	LUGAR DE ORIGEN	TIPO DE MALEZA
<i>Myrceugenia exsucca</i>	Myrtaceae	pitra					x	arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Myrceugenia lanceolata</i>	Myrtaceae	arrayancillo					x	arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Nicotiana glauca</i>	Solanaceae	tabaco del diablo	x					arbusto	introducido	F	Argentina y Brasil	maleza tóxica
<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	olivo		x				árbol	introducido	S	Mediterráneo	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Caesalpiniaceae	parquinsonia		x	x			arbusto	introducido	S	norte de Argentina	
<i>Paspalum dasypleurum</i>	Poaceae	pasto miel	x					hierba perenne	nativa	F	Chile	maleza principal
<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	pino					x	árbol	introducido	S	California	
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	siete venas		x				hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Platanus occidentalis</i>	Platanaceae	plátano		x				árbol	introducido	S	Europa	
<i>Platanus orientalis</i>	Platanaceae	plátano		x				árbol	introducido	S	América del Norte	
<i>Polygonum persicaria</i>	Polygonaceae	duraznillo		x	x			hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza muy seria
<i>Populus nigra</i>	Salicaceae	álamo					x	árbol	introducido	S	Asia central	
<i>Populus alba</i>	Salicaceae	álamo blanco					x	árbol	introducido	S	Europa y Asia	
<i>Proustia cuneifolia</i>	Asteraceae	pucana					x	arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Prunus amygdalus</i>	Rosaceae	almendro		x				árbol	introducido	S	China	
<i>Prunus cerasifera</i>	Rosaceae	ciruelo de flor			x			árbol	introducido	S	Asia central	
<i>Prunus domestica</i>	Rosaceae	ciruelo						árbol	introducido	S	Europa y oeste de Asia	
<i>Quillaja saponaria</i>	Rosaceae	quillay			x		x	árbol	endémico	F	Chile	
<i>Retanilla trinervia</i>	Rhamnaceae	tebo		x				arbusto	endémico	S	Chile	
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	ricino		x	x			arbusto	introducido	F	África central	maleza tóxica
<i>Rosa rubiginosa</i>	Rosaceae	rosa mosqueta		x	x			arbusto	introducido	F	sur de Europa	maleza muy seria
<i>Rubus ulmifolius</i>	Rosaceae	mora			x			arbusto	introducido	F	Europa	maleza muy seria
<i>Rumex acetocella</i>	Polygonaceae	vinagrillo			x			hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza muy seria
<i>Rumex crispus</i>	Polygonaceae	hualtata			x			hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Rumex longifolius</i>	Polygonaceae	romaza			x			hierba perenne	introducida	F	Europa	maleza común
<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	pimiento	x				x	árbol	nativo	F	Chile	
<i>Schinus latifolius</i>	Anacardiaceae	molle					x	árbol	endémico	F	Chile	
<i>Schinus polygama</i>	Anacardiaceae	huingán		x	x			arbusto	nativo	S	Chile	
<i>Senna candolleana</i>	Caesalpiniaceae	quebracho					x	arbusto	endémico	F	Chile	
<i>Solanum ligustrinum</i>	Solanaceae	natri	x				x	arbusto	nativo	F	Chile	
<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	ñihue					x	hierba anual	introducida	F	Europa	maleza principal
<i>Sorghum halapense</i>	Poaceae	sorgo		x				hierba perenne	introducida	F	África	maleza muy seria
<i>Stachys grandidentata</i>	Labiatae	hierba santa					x	hierba perenne	endémica	F	Chile	
<i>Tessaria absinthoides</i>	Asteraceae	brea		x				arbusto	nativo	S	Chile	maleza común
<i>Trevoa quinquenervia</i>	Rhamnaceae	tralhuén		x			x	arbusto	endémico	S	Chile	
<i>Tristerix corymbosus</i>	Loranthaceae	quintral					x	hierba perenne	nativa	F	Chile	planta parásita
<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae	trigo		x				hierba anual	introducida	S	Asia	
<i>Verbascum virgatum</i>	Scrophulariaceae	mitrún	x					hierba bianual	introducida	S	oeste de Europa	

T = transecto, CC = categoría de conservación, F = frecuente, S = sin clasificación.

Total de especies vegetales: 112; 73 introducidas desde otros países y 39 nativas o autóctonas de Chile; de éstas, 18 endémicas de Chile continental. Sus formas de crecimiento son: 34 árboles, 25 arbustos, 29 herbáceas anuales, 21 hierbas perennes y 3 hierbas bianuales.



Figura 3. Foto aérea del jardín en el contexto de la ciudad y el Parque Metropolitano.

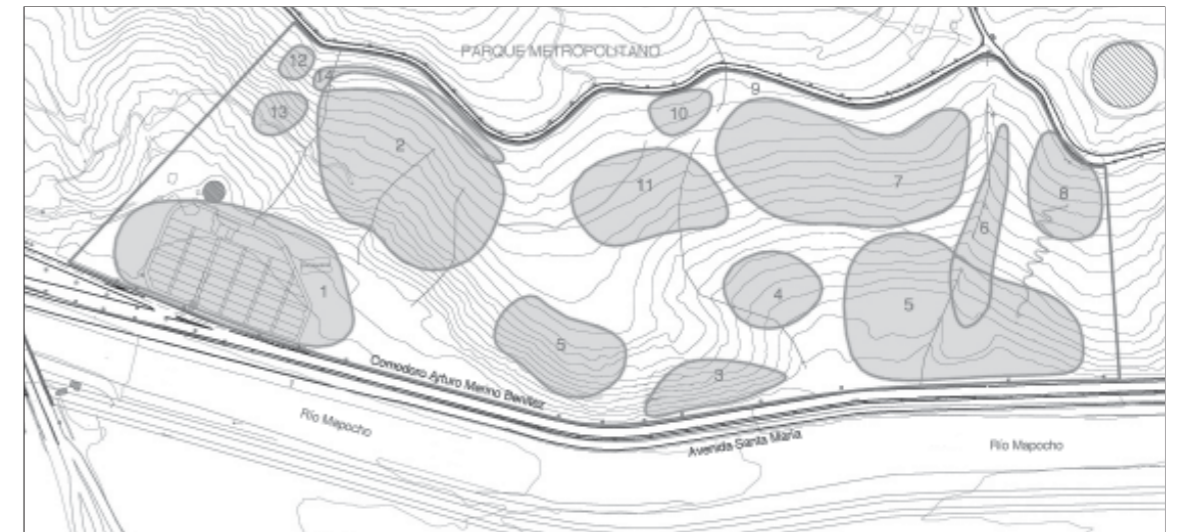


Figura 4. Sectores de plantas destacables del Jardín Botánico Chagal.

**Sector 1**, vivero, 33°24'25"S y 70°36'18.7"W. 650 msnm.

**Sector 2**, *Colliguaja odorifera*, *Acacia caven*, 33°24'16.8"S y 70°36'14.8"W. 667 msnm.

**Sector 3**, *Malesherbia linearifolia*, 33°24'10.1"S y 70°36'13.2"W. 659 msnm.

**Sector 4** (Los Brachichitos), *Brachychiton populneum*, 33°24'0.39"S y 70°36'14"W. 650 msnm.

**Sector 5**, *Schinus latifolius*, *Baccharis* spp., 33°23'57.9"S y 70°36'17.8"W. 663 msnm.

**Sector 6**, gramíneas nativas, 33°23'57"S y 70°36'20"W. 677 msnm.

**Sector 7**, *Conanthera campanulata*, sector *Eucalyptus camaldulensis*, 33°23'58.3"S y 70°36'21.2"W. 680 msnm.

**Sector 8**, bosque esclerófilo, *Quillaja saponaria*, *Maytenus boaria*, 33°23'56.9"S y 70°36'24.1"W. 746 msnm.

**Sector 9**, *Casuarina equisetifolia*, 33°23'59.1"S y 70°36'24.3"W. 731 msnm.

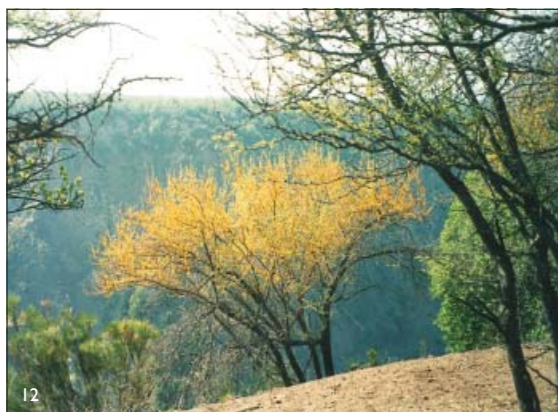
**Sector 10**, *Myrceugenia* spp., 33°24'01.7"S y 70°36'25.8"W. 680 msnm.

**Sector 11**, *Acacia caven*, *Colliguaja odorifera*, *Eucalyptus globulus*, 33°23'58.3"S y 70°36'21.2"W. 680 msnm.

**Sector 12** (Los Peumos), *Cryptocarya alba*, 33°2'4'09.8"S y 70°36'25.7"W. 747 msnm.

**Sector 13**, *Trevoa quinquenervia*, 33°24'09.6"S y 70°36'23"W. 731 msnm.

**Sector 14**, *Moscharia pinnatifida*, 33°23'01.7"S y 70°36'25.8"W. 723 msnm.



## CONCLUSIONES

En el Jardín Botánico Chagual se encontró un alto número de especies (112) para un área relativamente reducida (33,9 ha), donde un gran porcentaje es introducido (65%), lo que nos indica el grado de deterioro de la vegetación. El 35% son especies nativas, de las cuales sólo algunas crecen en forma natural, como espino *Acacia caven* (Foto 12), colliguaya *Colliguaja odorifera*, tralhuén *Trevoa quinquenervia*, tebo *Retanilla trinervia* y romerillo *Baccharis linearis*, (Tabla 1). Las siguientes especies son principalmente representantes arbóreos y arbustivos de la zona mediterránea central, frecuentes y de distribución amplia. Muchas han sido plantadas a modo de reforestación, como tara *Caesalpinea spinosa*, quebracho *Senna candolleana*, molle *Schinus latifolius*, arrayancillo *Myrceugenia lanceolada* y petra *Myrceugenia exsucca*, lo que puede ser una de las razones que explique que de los 25 arbustos presentes, el 87% es nativo (Tabla 1; Fig. 1). En cuanto a las especies herbáceas, debemos destacar la presencia de *Malesherbia linearifolia*, *Moscharia pinnatifida* y *Conanthera campanulata* (esta última con una población muy reducida pues se encuentra en un sector de muchos eucaliptos), que son ornamentales (Riedemann & Aldunate 2003), (Fig. 4).

El transecto 5 es el sector que más especies nativas presenta (70%), de un total de 20. Todos los arbustos son nativos; esto puede deberse a que es un sector con riego por goteo. Han podido mantenerse especies nativas como *Myrceugenia exsucca*, *M. lanceolada*, *Senna candolleana*, arbustos que, lo más probable, fueron introducidos en el área (Fig. 4).

Del total de las especies presentes, muchas son malezas introducidas, lo que nos indica la intervención a la que ha estado sometido el lugar. Estas malezas compiten con las especies nativas, de las cuales muchas desaparecen o

son desplazadas por este tipo de plantas (Matthei 1995), (Tabla 1). El deterioro de la vegetación por malezas, la tala de especies nativas y los incendios forestales son impactos producidos por el ser humano.

En este estudio no se encontraron especies en categoría de conservación, según el Libro Rojo de la Vegetación de Chile (CONAF 1989); la mayoría de las especies de Chagual está fuera de peligro (Tabla 1).

Según la ubicación de las especies (Fig. 4) destaca la presencia de algunas herbáceas ornamentales como *Malesherbia linearifolia* en el sector 3 (Foto 9), *Conanthera campanulata* en el sector 7 (Foto 10) con sólo algunos individuos, y en el sector 14 *Moscharia pinnatifida* (Foto 13). El sector 8 está dominado por arbustos altos y árboles, los que corresponden a un estado de regeneración por monte bajo de las especies arbóreas esclerofilas (Gajardo 1994), con *Quillaja saponaria*, *Lithrea caustica*, *Maytenus boaria* y *Cryptocarya alba*. El sector 4 está dominado por un conjunto de *Brachychiton populneum*, especie introducida desde Australia (Foto 10). En el sector 7 se encuentran varios individuos de *Eucalyptus camaldulensis*, en muy malas condiciones sanitarias, invadidos por conchuelas *Parthenolecanium* sp. y fumagina, hongos del orden Dothideales (Agrios 1996); incluso hay varios muertos, con sus troncos secos y desnudos. Atraen a los carpinteritos *Picoides lignarius*, aves poco comunes en estos lugares (Foto 11). Por último, podemos decir que el sector 11 está dominado por *Acacia caven*, *Colliguaja odorifera* y otras especies. Destaca la presencia de unos pocos individuos añosos de *Eucalyptus globulus*, en los cuales se encontraba nidificando una pareja de aguiluchos *Buteo polyosoma* (Araya & Millie 1986), (Fig. 4).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración y comentarios de Nicolás García B. en la determinación de los endemismos.

**Foto 6.** Sector 1, vivero. **Fotos 7 y 8.** Sector 3, *Malesherbia linearifolia*. **Foto 9.** Sector 4 (Los Brachichitos), *Brachychiton populneum*. **Foto 10.** Sector 7, *Conanthera campanulata*. **Foto 11.** Sector 7, *Eucalyptus camaldulensis*. **Foto 12.** Sector 11, *Acacia caven*. **Foto 13.** Sector 14, *Moscharia pinnatifida* en plena floración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios GN. 1996. Fitopatología. Noriega Editores. México. 838 pp.
- Araya B & G Millie. 1986. Guía de Campo de las Aves de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 389 pp.
- Arroyo MTK & L Cavieres. 1997. The mediterranean type-climate flora of central Chile - what do we know and how can assure its protection? en: Timmerman & Montenegro (eds.). Taller Internacional: aspectos ambientales éticos, ideológicos y políticos en el debate sobre la bioprospección y uso de recursos genéticos en Chile.
- Arroyo MTK, D Rougier, F Pérez, P Pliscoff & K Bull. 2003. La flora de Chile central y su protección: antecedentes y prioridades para el establecimiento del Jardín Botánico Chagual. Revista Jardín Botánico Chagual de Santiago, vol. 1, n° 1.
- Benoit I (ed.). 1989. Libro rojo de la flora terrestre de Chile. CONAF. Santiago de Chile. 157 pp.
- Brickel C. 1997. Enciclopedia de Plantas y Flores. The Royal Horticultural Society. Grijalbo. Mondadori Editore, Verona, Italia. 633 pp.
- Di Castri F & E Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Fuentes E & S Prenafeta. 1988. Ecología del paisaje en Chile central, estudios sobre sus espacios montañosos. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Gajardo R. 1994. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 165 pp.
- Hoffmann A. 1979. Flora silvestre de Chile. Zona Central. Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago de Chile. 253 pp.
- Hoffmann A. 1983. El árbol urbano en Chile. Fundación Claudio Gay. Santiago de Chile. 255 pp.
- Marticorena C & M Quezada. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana Botánica 42(1-2): 1-157.
- Matthei O. 1995. Manual de las Malezas que crecen en Chile. Alfabeta Impresores. Santiago de Chile.
- Navas LE. 1973, 1976, 1979. Flora de la Cuenca de Santiago de Chile. Santiago, 3 volúmenes.
- Riedemann P & G Aldunate. 2001. Flora Nativa de valor ornamental. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile. 367 pp.
- Villarias JL. 1992. Atlas de Malas Hierbas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 508 pp.

## *Nothofagus macrocarpa* “roble de Santiago” y las dificultades de propagación de las especies del género *Nothofagus*.

Ángel Cabello L.  
Dpto. de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales,  
Universidad de Chile.  
acabello@uchile.cl

A mediados de 2004, el Jardín Botánico Chagual y el Departamento de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile se unieron a CONAF Región Metropolitana, con el objeto de intentar reproducir vegetativamente ejemplares de *Nothofagus macrocarpa* “roble de Santiago”. Lo anterior corresponde a una parte del Proyecto de Asistencia Técnica de CONAF “Uso, manejo y protección de recursos naturales para promover el desarrollo sustentable de la Comunidad de Caleu, comuna de Tiltill, Región Metropolitana”. Este proyecto se desarrolla en el Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble, de alrededor de 1.000 ha, y también en su área de influencia, perteneciente a la Comunidad de Caleu, vecina al santuario, con una superficie de 3.250 ha.

El cerro El Roble (Foto 1) fue declarado Santuario de la Naturaleza según Decreto Exento N° 229 del Ministerio de Educación en junio de 2000. La característica principal del santuario es la presencia de roblerías relictas de *Nothofagus macrocarpa* en parte de la ladera sur y sureste, a partir de la cumbre. La vegetación del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble y la que lo rodea presenta un fuerte deterioro. Debido a esto, en el proyecto desarrollado por CONAF se planteó, entre otros objetivos, establecer parcelas de ensayo de manejo silvicultural de bosque

de roble y fomentar la forestación, de preferencia con especies nativas, en terrenos descubiertos y/o degradados (Foto 2).

El deterioro que presentan los bosquetes de roble de Santiago en este santuario no es exclusivo. Al respecto, Gajardo (2001) plantea que, según observaciones recientes en las formaciones boscosas de la Región Metropolitana y de las regiones limítrofes, la regresión de los bosques de roble de Santiago es acelerada, por la falta de regeneración natural, por la mortalidad de los árboles y por el impacto directo de las actividades humanas. Debido a su deterioro, el roble de Santiago fue incluido entre las especies con problemas en las regiones V y Metropolitana, en las categorías “en peligro” y “vulnerable” respectivamente, en el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (Benoit 1989).

Dada la necesidad de disponer de plantas de roble de Santiago para reforestar en el cerro El Roble (por parte de CONAF), de contar con ejemplares para el Jardín Botánico Chagual y la carencia de antecedentes sobre su propagación, se decidió iniciar un ensayo de enraizamiento de estacas, por la dificultad de conseguir semillas viables<sup>1</sup>. El material vegetativo se obtuvo del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble, y se puso a enraizar en uno de los invernaderos del vivero Leliantu<sup>2</sup> (Foto 3) del jardín botánico.

<sup>1</sup> Semilla viable: que se encuentra viva, con capacidad de germinar y crecer bajo condiciones particulares. La viabilidad generalmente se estima mediante ensayos de germinación.

<sup>2</sup> Leliantu: del mapudungun, girasol.

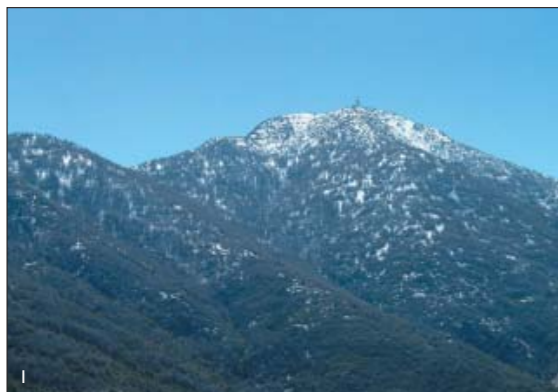


Foto 1. Cerro El Roble (Carolina Rojas). Foto 2. Suelos fuertemente degradados y vegetación deteriorada (Carolina Rojas). Foto 3. Invernaderos del vivero Leliantu, Jardín Botánico Chagual (Ángel Cabello).

En este ensayo se probará el efecto de la época, de la aplicación de un regulador de crecimiento y del tipo de material vegetativo, sobre la formación de raíces adventicias en las estacas.

Si se hubiera contado con semillas de roble de Santiago para sembrarlas en el vivero, o el hecho de haber iniciado un ensayo de enraizamiento de estacas, no garantizarían el éxito de dichas acciones, debido a la falta de información escrita sobre la propagación y producción de plan-

tas en roble de Santiago. Por ello se deberá recurrir a algunos antecedentes de otras especies del género *Nothofagus*, pero que nada aseguran.

### PROPAGACIÓN POR SEMILLAS DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *NOTHOFAGUS*

Para propagar por semillas las especies del género *Nothofagus* se deben tener en cuenta varios aspectos que, al parecer, involucran a todas o a la mayoría de ellas. A menudo, el primer obstáculo a sortear es obtener semillas de la especie a propagar, y que éstas se encuentren viables. Los *Nothofagus* desgraciadamente no están entre las especies que producen buenas cosechas anuales; por el contrario, este género presenta ciclos irregulares. Los años de baja producción de frutos coinciden además con un elevado porcentaje de semillas vanas. Al respecto, Gordon & Rowe (1982) informan que *N. alpina* "raulí" y *N. obliqua* "roble" sólo producen abundante semilla después de veranos calurosos, y que *N. antarctica* "ñirre", *N. betuloides* "coigüe de Magallanes" y *N. dombeyi* "coigüe", producen semillas viables muy infrecuentemente. Para *N. nitida* "coigüe de Chiloé", Donoso (1993) plantea un ciclo de dos años, de tipo ontogénico, ya que no muestra relación con la temperatura ni la precipitación. También Burschel *et al.* (1976) comunican la existencia de ciclos bianuales para *N. alpina* y *N. dombeyi*, y Becker (1981) para *N. obliqua* (ambos citados por Donoso 1993).

Felizmente, las semillas de *Nothofagus* se ubican en el grupo de las ortodoxas, lo que significa que se pueden almacenar por algunos años a 5° C, con contenidos de humedad cercanos al 10%, sin perder su viabilidad. Esto permite guardar semillas cosechadas en años de alta producción para ser usadas en temporadas posteriores. En un ensayo realizado por Escobar & Donoso (1996), semillas de *N. alpina*, *N. dombeyi* y *N. obliqua* alcanzaron altos porcentajes y velocidades de germinación luego de seis años de almacenamiento.

El alto porcentaje de semillas vanas se produce por aborción y por ataque de insectos. Según Cerda & Angulo (2000), una larva conocida como "perforador de la semilla de raulí" (*Perzelia arda*, Lepidoptera) consume el embrión de las semillas y se alimenta de las hojas de las plantas.

En general, el porcentaje de semillas viables es inferior al 50% (Cuadro 1), aunque los promedios de algunas especies se han obtenido con un número insuficiente de mues-

tras. Subiri (1997), comparando semillas de tres procedencias de *N. obliqua*, determinó que el porcentaje de semillas llenas varió entre 10,5, 35,5 y 52,5% para las procedencias de Lonquimay, Bullileo y Malla respectivamente.

Al consultar bibliografía relacionada con germinación de especies de *Nothofagus*, o al comprar semillas, es necesario averiguar si los valores de germinación consideran las semillas vanas. Esto debido a que muchos ensayos de germinación, y las siembras en el vivero, se realizan sólo con semillas llenas. Lo anterior gracias a que es fácil eliminar el elevado porcentaje de semillas vacías al remojarlas en agua por 24 horas. Después las semillas vanas quedan flotando y pueden ser fácilmente separadas de las semillas llenas, que al aumentar su contenido de humedad, se van al fondo del recipiente. Aun con esta práctica, la capacidad germinativa promedio de algunas especies es bastante baja (Cuadro 2), aunque se empleen semillas pretratadas.

A la irregularidad en la producción de semillas, en la zona central, se suma la dificultad de encontrar rodales productores de ellas, debido a que la mayor parte de los rodales corresponde a renovals que no han alcanzado la madurez sexual.

Por último, al intentar propagar especies del género *Nothofagus* por semillas, se debe tener en consideración que ellas presentan latencia endógena fisiológica<sup>3</sup> (Cabello 1987). En general, para superar la latencia necesitan entre 30 y 60 días de estratificación fría (Donoso & Cabello 1978, Tuley 1980, Cabello 1987). Además de la estratificación, el remojo en una solución con sustancias promotoras de la germinación puede superar la latencia de las semillas.

Las giberelinas<sup>4</sup>, particularmente el GA<sub>3</sub> (ácido giberélico) y GA<sub>4/7</sub>, han sido probadas con éxito en la estimulación de la germinación de las semillas de algunas especies del género *Nothofagus*: *N. alessandrii* "ruil" (Gordon & Rowe 1982, Rocuant 1984), *N. antarctica* (Gordon & Rowe 1982), *N. betuloides* (Gordon & Rowe 1982), *N. glauca* "hualo" (Espinoza 1997) y *N. obliqua* (Rowe & Gordon 1981, Shafiq 1981, Gordon & Rowe 1982, Rocuant 1984, Subiri 1997). Sin embargo, según Rocuant (1984), la aplicación de GA<sub>3</sub> a semillas de *N. alpina*, *N. dombeyi* y *N. pumilio* "lenga" no estimula su germinación.

También se han aplicado soluciones de tiourea<sup>5</sup> como tratamiento pregerminativo en algunas especies: *N. alessandrii* (Rocuant 1984), *N. dombeyi* (Rocuant 1984), *N.*

Cuadro 1. Porcentajes de viabilidad de algunas especies del género *Nothofagus* determinados mediante ensayo de corte.

Especie	Viabilidad %			N° de muestras
	mínima	máxima	promedio	
<i>N. alessandrii</i>	30	30	30	1
<i>N. alpina</i>	15	86	48	16
<i>N. antarctica</i>	42	42	42	1
<i>N. betuloides</i>	5	5	5	1
<i>N. dombeyi</i>	12	82	34	5
<i>N. glauca</i>	14	92	60	23
<i>N. leoni</i>	28	70	49	4
<i>N. obliqua</i>	8	83	45	39
<i>N. macrocarpa</i>	29	92	52	3
<i>N. pumilio</i>	3	73	47	5

Fuente: modificado de Acuña 2001.

Cuadro 2. Capacidad germinativa (%) de algunas especies del género *Nothofagus*, determinada mediante ensayo de germinación empleando sólo semillas llenas, como resultado de la eliminación de las semillas vanas a través de ensayo de flotación.

Especie	Capacidad germinativa %			N° de muestras
	mínima	máxima	promedio	
<i>N. alessandrii</i>	4	47	14	5
<i>N. alpina</i>	1	100	48	24
<i>N. antarctica</i>	2	65	16	6
<i>N. betuloides</i>	23	55	37	3
<i>N. dombeyi</i>	30	67	48	4
<i>N. glauca</i>	9	98	72	31
<i>N. leoni</i>	50	87	72	6
<i>N. obliqua</i>	1	99	53	43
<i>N. macrocarpa</i>	9	99	69	3
<i>N. pumilio</i>	2	90	38	4

Fuente: modificado de Acuña 2001.

*glauca* (Espinoza 1997), *N. obliqua* (Moreno & Ramírez de Arellano 1976, Rocuant 1984) y *N. pumilio* (Rocuant 1984). Pero en los ensayos realizados por Rocuant (1984) no hubo diferencias significativas entre el tratamiento con tiourea y el testigo.

Se ha visto que ambas sustancias pueden originar plantas anormales en el vivero: el tratamiento con GA<sub>3</sub> causa entrenudos excesivamente alargados y hojas deformes y pequeñas (aunque esto puede desaparecer después de un tiempo), y la tiourea puede producir deformidades en el

<sup>3</sup> Latencia endógena: aquella que se encuentra controlada por los tejidos vivos de la semilla (embrión, endosperma, testa interna).

<sup>4</sup> Hormonas que, entre otros efectos, promueven la germinación de semillas que requieren de un almacenamiento seco previo, o de un tratamiento frío-húmedo, o del estímulo de la luz.

<sup>5</sup> Sustancia usada experimentalmente para estimular la germinación de algunas semillas latentes, en particular aquellas que requieren tratamiento húmedo-frío o que son estimuladas por la luz, o inhibidas por altas temperaturas.

sistema radical. Por ello se recomienda estratificar la semilla en frío, por el tiempo que corresponda, según la especie.

### PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *NOTHOFAGUS*

Como alternativa a la propagación por semillas se puede recurrir a la propagación vegetativa. En especies del género *Nothofagus* se ha empleado el estaquillado, y recientemente, el cultivo *in vitro*. La ventaja de la propagación por estacas, con respecto al cultivo *in vitro*, es su menor costo, pero es mucho más cara que la multiplicación por semillas. Dadas las dificultades que han tenido diferentes investigadores en el enraizamiento de estacas de algunas especies de *Nothofagus*, es necesario trabajar al interior de un invernadero, con control de temperatura y humedad ambiente.

Además, al parecer, dos aspectos son fundamentales en la obtención de raíces adventicias en las estacas de las especies estudiadas (Cuadro 3): la aplicación de regulador de crecimiento y la época de obtención del material vegetativo.

La mayoría de las especies en que se produjo enraizamiento de las estacas fue instalada a fines de primavera (mediados de noviembre). Una de las excepciones corresponde a los ensayos realizados en invierno por Santelices (1993), y aunque obtuvo enraizamiento, se debe considerar que el material vegetativo provenía de plantas de vivero, de 2 a 4 años de edad, que por su juventud presentan una capacidad aumentada de iniciar raíces adventicias.

La mayor parte de los ensayos tiene una duración de entre 3 y 6 meses, aunque algunos se han prolongado por un año. Sin embargo, también se han realizado ensayos que no fueron exitosos, entre ellos:

- Mebus (1993), aunque tuvo éxito en noviembre (Cuadro 3), no consiguió enraizar las estacas de *N. alessandrii* y de *N. glauca* cultivadas en mayo. Además no obtuvo enraizamiento en estacas de *N. leoni* en mayo ni en noviembre.
- Algo parecido le ocurrió a Santelices (1998), en ensayos realizados en marzo y agosto de 1995, donde alcanzó un enraizamiento máximo de 0,6% y 0% en un ensayo instalado en enero de 1996, bajo las mismas condiciones con que tuvo éxito en noviembre (Cuadro 3).
- Santelices & García (2003) sólo consiguieron enraizar estacas de *N. alessandrii* cosechadas y cultivadas el año 1997 (Cuadro 3); en otros tres ensayos que realizaron en 1996, 1998 y 1999 no obtuvieron enraizamiento. A pesar de que en los cuatro ensayos se usaron estacas obtenidas en noviembre, de rebrotes de tocones de árboles adultos, cultivándolas durante tres meses bajo las mismas condiciones (con IBA), los resultados no son repetitivos.
- Romero & Castro en 2000 y 2001 respectivamente (ambos citados por Latsague & Lara 2003) no lograron formar raíces en estacas de *N. pumilio* obtenidas tanto en invierno como en verano, de árboles de distintas edades (adultos y 5 años) y procedencias.

Las dificultades en el enraizamiento de las estacas de *N. pumilio* se deberían a las altas concentraciones de

Cuadro 3. Enraizamientos máximos obtenidos en algunas especies del género *Nothofagus*.

Especie	Fuente	Época	Regulador*	Enraizamiento	Referencia
<i>N. alessandrii</i>	árboles adultos	noviembre	IBA	25%	Mebus 1993
<i>N. alessandrii</i>	rebrotos de tocón	noviembre	IBA	20%	Santelices & García 2003
<i>N. alpina</i>	rebrotos de tocón	noviembre	IBA	27%	Silva 1968
<i>N. alpina</i>		mediados de verano	IBA	50%	Hogrebe 1973 **
<i>N. alpina</i>				13%	Becker & Dautzenberg 1978 **
<i>N. alpina</i>	planta vivero 2 años	julio	IBA	40%	Santelices 1993
<i>N. dombeyi</i>	planta vivero 3 años	julio	IBA	9%	Santelices 1993
<i>N. glauca</i>	árboles adultos	noviembre	IBA	45%	Mebus 1993
<i>N. glauca</i>	rebrotos de tocón	marzo y agosto	IBA	0,6%	Santelices 1998
<i>N. glauca</i>	rebrotos de tocón	noviembre	IBA	88%	Santelices & Cabello 2004
<i>N. obliqua</i>		mediados de verano	IBA	50%	Hogrebe 1973 **
<i>N. obliqua</i>	planta vivero 4 años	julio	IBA	48%	Santelices 1993

\* Respecto del regulador de crecimiento se ha empleado ácido indolbutírico (IBA) en distintas concentraciones, en solución líquida o polvo.

\*\* Citados por Santelices 1998.

fenoles solubles totales que ellas contienen. A esta conclusión llegaron Latsague & Lara (2003), al compararlas con las concentraciones más bajas determinadas en estacas de *N. alpina*, que sí forman raíces adventicias. Esta relación no se ha buscado en otras especies del género *Nothofagus*, así como si ocurre una variación estacional o individual.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña M. 2001. Formulación de un protocolo de trabajo para el análisis de semillas de especies leñosas nativas. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 87 pp.
- Benoit I. 1989. Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 157 pp.
- Cabello A. 1987. Proyecto de protección y recuperación de especies arbóreas y arbustivas amenazadas de extinción. Especies amenazadas: colecta de semillas y producción de plantas en vivero. Parte I. Chile Forestal 137. Documento Técnico 21. 8 pp.
- Cerda L & A Angulo. 2000. Insectos asociados a bosques del centro sur de Chile en: Baldini A & L Pancel (eds.). Agentes de Daño en el Bosque Nativo. Ed. Universitaria. Santiago, Chile. Pp. 201-282.
- Donoso C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ed. Universitaria. Santiago, Chile. 484 pp.
- Donoso C & A Cabello. 1978. Antecedentes fenológicos de la germinación de especies leñosas chilenas. Santiago, Chile. Rev. Ciencias Forestales 1(2): 31-41.
- Escobar B & C Donoso. 1996. Resultados preliminares de almacenamiento en frío de semillas de coigüe (*Nothofagus dombeyi*), roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*). Valdivia, Chile. Bosque 17(2): 101-105.
- Espinoza N. 1997. Ensayos de técnicas para la propagación por semillas de Hualo, *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 58 pp.
- Gajardo R. 2001. Antecedentes sobre el "roble de Santiago" o "roble blanco" (*Nothofagus macrocarpa*) y sus problemas de conservación. Valdivia, Chile. Bosque Nativo 28: 3-7.
- Gordon AG & DCF Rowe. 1982. Seed manual for ornamental trees and shrubs. London. Her Majesty's Stationery Office. Forestry Commission. Bulletin 59. 132 pp.
- Latsague M & J Lara. 2003. Fenoles solubles totales y su relación con la inhibición de la rizogénesis en estacas de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. Gayana Botánica 60(2): 90-93.
- Mebus I. 1993. Enraizamiento en estacas de *Nothofagus* spp. de la zona mesomórfica de Chile amenazadas de extinción. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 68 pp.
- Moreno G & C Ramírez de Arellano. 1976. Ensayo de algunas técnicas para la producción en vivero de Roble, *Nothofagus obliqua* (Mir. et Oerst.) y Raulí, *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 137 pp.
- Rocuant L. 1984. Efecto de giberelina y de tiourea en la germinación de semillas: especies del género *Nothofagus*. Valdivia, Chile. Bosque 5(2): 53-58.
- Rowe DCF & AG Gordon. 1981. Studies on effects of prechilling periods or gibberellins used to stimulate the seed germination of *Nothofagus obliqua* and *N. procera*. Seed Sciences and Technology 9: 823-838.
- Santelices R. 1993. Propagación vegetativa de raulí, roble y coihue a partir de estacas. Santiago, Chile. Ciencia e Investigación Forestal 7(1): 37-48.
- Santelices R. 1998. Propagación vegetativa de hualo, *Nothofagus glauca*, mediante estacas. Tesis Magíster Manejo de Recursos Forestales. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 107 pp.
- Santelices R & A Cabello (en prensa). Efecto de algunos factores externos e internos en el arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser.
- Santelices R & C García. 2003. Efecto del ácido indolbutírico y la ubicación de la estaca en el rebrote de tocón sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii* Espinosa. Valdivia, Chile. Bosque 24(2): 53-61.
- Shafiq Y. 1981. Effect of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) and prechilling on germination percent of *Nothofagus obliqua* Mirb. and *Nothofagus procera* Oerst. seeds. Turrialba 31(4): 365-368.
- Silva J. 1968. Arraigamiento de estacas de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oersted). Tesis Ingeniería Forestal, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 22 pp.
- Subiri M. 1997. Técnicas de propagación por semillas y de producción de plantas en vivero de *Nothofagus obliqua* de tres procedencias. Memoria Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 87 pp.
- Tuley G. 1980. *Nothofagus* in Britain. London. Her Majesty's Stationery Office. Forestry Commission. Forest Record 122. 26 pp.

## Antecedentes sobre el roble de Santiago o roble blanco (*Nothofagus macrocarpa*) y sus problemas de conservación

Rodolfo Gajardo M.  
Doctor en ecología.  
rgajardo@uchile.cl

### EL GÉNERO

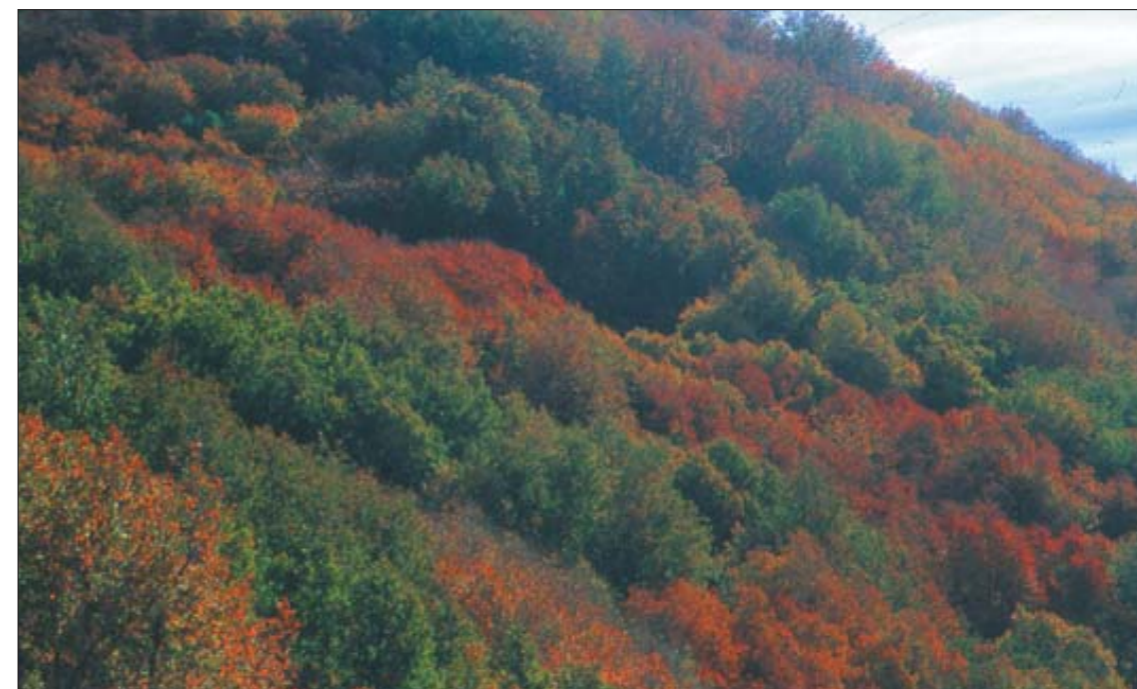
**N***othofagus* Blume (en *Museum Botanicum* 1: 307, 1850, Fagaceae Dumortier o Nothofagaceae Kupri-nova) es considerado un elemento clave en la fitogeografía del hemisferio sur y constituye quizás el componente más importante de las formaciones boscosas del extremo austral de Sudamérica. En la historia geológica, sus orígenes se remontan al Cretácico Superior (ca. 70 MaAP), con huellas en la compleja historia de la tectónica de placas de las tierras que alguna vez fueron parte del supercontinente Gondwana. Sus restos fósiles son frecuentes en la Antártica, Sudamérica austral, Australia, Tasmania, Nueva Zelanda, Nueva Guinea y Nueva Caledonia, territorios que aún constituyen parte de su distribución geográfica (Van Steenis 1972, Tanai 1986).

La distribución actual de *Nothofagus* en Chile está relacionada con eventos del pasado. Según Polymeris (1993) se pueden reconocer en la historia biológica del género *Nothofagus* algunos rasgos que se han mantenido, como la estrecha relación de la distribución pasada y actual con gradientes climáticos marcados por bajas temperaturas, así como la importancia de perturbaciones naturales catastróficas. La biogeografía de *Nothofagus* en

Sudamérica austral presenta un complejo patrón de biodiversidad, con variaciones continuas o clinales<sup>1</sup> y discontinuas o ecotípicas. Esta biodiversidad tiene bases biogeográficas, propias de un género con una historia transcurrida en muchos millones de años, ligada a eventos geológicos mayores. En el pasado geológico reciente (plioceno-pleistoceno), es evidente que algunas de sus poblaciones han sufrido extinciones, y otras fuertes presiones selectivas (Simpson & Todzia 1990). Según los perfiles palinológicos estudiados por Heusser (1983) en la laguna Tagua-Tagua, durante el máximo de la última glaciación (25.000 – 14.000 años), en la depresión central existían comunidades arbóreas con *Nothofagus* y coníferas. En tiempos históricos, especialmente en Chile central y centro-sur, el contingente de sus comunidades boscosas ha sido disminuido en enormes proporciones (San Martín & Donoso 1996).

De esta manera resulta que la definición de las especies, sus límites, sus variedades y la posibilidad de existencia de híbridos, muestra una gran dificultad, en especial cuando se aplican métodos puramente morfológicos, tal como se advierte en Donoso (1987). Es evidente que para una mayor seguridad con respecto a los procesos de especiación y evolución de los *Nothofagus* chilenos, es necesario recurrir a estudios genéticos con la aplicación de técnicas modernas. Ésta será la única base sólida de información

<sup>1</sup> Diferenciación gradual debida generalmente a la latitud o altitud.



para establecer una política de conservación y protección de la biodiversidad de este género.

Las especies de *Nothofagus* de hoja caduca que se encuentran en Chile central son *N. alessandrii*, *N. alpina*, *N. glauca*, *N. obliqua*, *N. obliqua* var. *macrocarpa* y, excepcionalmente, algunos bosquetes de *N. antarctica* y *N. pumilio*. Constituyen el límite norte de los bosques caducifolios templados (según Schmithüsen 1956), o la subregión vegetacional del bosque caducifolio montano (Gajardo 1994). Sus comunidades están muy penetradas por elementos de los bosques esclerofilos o han sido depredadas por una explotación secular y, recientemente, sustituidas por plantaciones de especies exóticas, como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en gran parte de su territorio.

Estudios en la sistemática del género *Nothofagus* (Vázquez & Rodríguez 1999) han establecido el cambio del nivel taxonómico de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. var. *macrocarpa* A. DC. al rango de especie, bajo el epíteto de *Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) F.M. Vázquez y R.A. Rodríguez. Entre otros aspectos, este hecho indica que es necesario evaluar el estado de conservación en que se encuentran las poblaciones de esta especie. Por la condición

de sus rodales<sup>2</sup>, probablemente su categoría de conservación sea la de **Especie en Peligro**. Frente a esto resulta necesario establecer un conjunto de acciones dirigidas al rescate y conservación de los bosques de roble de Santiago. Para el conocimiento de la condición actual de *Nothofagus macrocarpa* se proponen las siguientes:

- Establecer el estado de conservación de esta especie de acuerdo con las categorías UICN<sup>3</sup>, teniendo en cuenta especialmente criterios como singularidad taxonómica y genética, nivel de endemismo, abundancia poblacional, frecuencia en su distribución, características del hábitat y grados de impacto ecológico, y nivel de presencia en el sistema de áreas silvestres protegidas bajo conservación efectiva.
- Evaluar la biodiversidad de las poblaciones y su relación con las especies próximas dentro del género *Nothofagus*, estableciendo la riqueza genética con procedimientos isoenzimáticos<sup>4</sup> y moleculares, revisando los potenciales mutuos de cruzamiento e hibridación, e identificando familias y linajes.
- Efectuar un reconocimiento detallado de terreno, definiendo condiciones de composición y estructura a una

<sup>2</sup> La unidad mínima de un bosque que cumple con ciertas características que lo pueden diferenciar es un rodal, que resulta producto de estratificarlo. Ejemplo, dividir un bosque por edad, especie, objetivo, esquema de manejo (podado, no podado), etc.

<sup>3</sup> Unión Mundial para la Naturaleza.

<sup>4</sup> Con igual catalizador biológico o enzima.

escala cartográfica adecuada; establecer una rodalización (superficies y condiciones forestales) para fijar pautas hacia una silvicultura de protección, y crear parcelas permanentes de monitoreo.

- Evaluar el impacto ambiental pasado y actual que afecta a estas formaciones boscosas, formulando proyecciones futuras de modificación de uso del suelo, y los potenciales efectos del cambio climático global sobre la estabilidad de sus poblaciones.
- Definir las características de la dinámica ecológica de estos bosques (estrategias reproductivas, regeneración, ciclo de nutrientes, relaciones hídricas, microclima).
- Efectuar estudios de reproducción y propagación para la reforestación y enriquecimiento futuro de las masas boscosas.

### POSICIÓN TAXONÓMICA

*Nothofagus macrocarpa* ha sido asociado por largo tiempo con *N. obliqua*, sin embargo, según Vázquez & Rodríguez (1999), presenta aspectos morfológicos que lo relacionan más con *N. alpina*, y proponen la siguiente clave para diferenciar las tres especies:

- 1a. Lamelas de la cúpula enteras o dentadas. Hojas con el limbo desprovisto de glándulas y pubescencia<sup>4</sup> laxa.....*Nothofagus obliqua*
- 1b. Lamelas de la cúpula pinnatifidas<sup>5</sup>. Hojas con el limbo provisto de glándulas y pubescencia densa .....2
- 2a. Lamelas de la cúpula con más de 4 mm de longitud, fuertemente pinnatifidas. Las glándulas y tricomas<sup>6</sup> del limbo están distribuidos regularmente.....*Nothofagus alpina*
- 2b. Lamelas de la cúpula más pequeñas, de 3,5 mm, cor-tamente pinnatifidas. Las glándulas y tricomas del lim-

bo no están distribuidos regularmente..... *Nothofagus macrocarpa*

Según Rodríguez *et al.* (1983), una descripción morfológica somera de *Nothofagus macrocarpa* (como *N. obliqua* var. *macrocarpa*) es la siguiente: árbol monoico de hasta 25 m de alto, frondoso, follaje de color verde claro. Tronco más o menos cilíndrico, recto, de hasta 1,2 m de diámetro; corteza gruesa en los árboles adultos, lisa y gris-cenicienta en los jóvenes. Ramas gruesas, yemas de 0,5-0,7 mm de largo. Ramitas pilosas. Hojas caducas, simples, alternas, de 4-9 cm de largo, aovadas<sup>7</sup> o elípticas, glandulosas, romas o algo agudas en el ápice, base cuneada, asimétrica. Cara inferior de la lámina, pecíolo y nervios primarios pilosos; margen ondulado-crenado<sup>8</sup>, dentado. Flor masculina solitaria, axilar, pedicelada<sup>9</sup>. Inflorescencias femeninas trifloras sobre pedúnculos de 2-3 mm de largo; cúpula pilosa, 4-partida, de 1,5-2,2 cm de largo; apéndices lamelares<sup>10</sup> intrincados, divididos, glanduloso-ciliados. Fruto: 3 nueces, la central bialada, las laterales triangulares, trialadas, de cerca de 1 cm de largo.

### DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El roble de Santiago o roble blanco (*Nothofagus macrocarpa*) es un endemismo restringido (especie endémica es aquella exclusiva del país o de una porción de él). Asimismo, en el Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile (Muñoz-Schick *et al.* 1996) se plantea que la variedad *Nothofagus obliqua* var. *macrocarpa* es de alto interés científico. Las robleras de la zona central, constituidas por roble de Santiago o roble blanco, especialmente en la Cordillera de la Costa (32° y 35° lat. sur) se consideran relictas, es decir, se establecieron hace miles de años, bajo condiciones climáticas diferentes a las de hoy. Por tal motivo constituyen un hecho único de la naturaleza, con seguridad imposible de reproducir. Los bosques de roble son una muestra com-

<sup>4</sup> Cubierta de pelitos.

<sup>5</sup> Hoja de nervadura provista de aletas, cuando tiene el margen hendido de tal manera que las divisiones llegan máximo hasta la mitad del semilimbo (mitad de la hoja).

<sup>6</sup> Pelos.

<sup>7</sup> Forma de huevo.

<sup>8</sup> Con dibujo o recorte en onda o punta que adorna el borde.

<sup>9</sup> Provista de pedicelo = pedúnculo, tallito que sostiene a una flor.

<sup>10</sup> Semejante a una laminita.

pleja de la dinámica histórica de la vegetación. Probablemente reflejan los cambios climáticos ocurridos en el Cuaternario reciente, lo que les otorga un valor científico excepcional para la comprensión del fenómeno conocido como “cambio climático global”, que afecta a todo el planeta con consecuencias aún no bien conocidas. Esta especie se encuentra en pequeñas poblaciones aisladas unas de otras: en los cerros El Roble y La Campana, en los Altos de Chicauma, en los Altos de Cantillana, cerros de Hueque, Talamí, Loncha, cerro Pangalillo y en las Sierras de Bellavista. Aquí los robles sobreviven gracias a condiciones ecológicas particulares, debido a su ubicación en laderas de exposición sur, con tasas de evapo-transpiración menores, por la orientación oblicua de la insolación, el efecto de la altitud (reduce la temperatura) y la precipitación invernal, a menudo en forma de nieve. Son formaciones de vegetación extremadamente frágiles, que aparte de las condiciones ambientales favorables que las sostienen, dependen en gran medida de la capacidad reguladora interna que tiene el bosque en la estación desfavorable, en la medida que su estructura no sea modificada ni alterada. Por lo tanto, son comunidades vegetales de altísimo interés científico y parte importante del patrimonio natural de la nación.

La existencia de especies, poblaciones y comunidades vegetales de alto endemismo, fragilidad o singularidad, que carecen de protección legal o administrativa especial, requieren de un reconocimiento detallado, para arbitrar en el futuro las medidas necesarias de protección y manejo. Las formaciones boscosas constituyen un recurso escaso en la región central del país. Progresivamente disminuye su superficie y se deteriora su estado de conservación, entre otras razones, por las modificaciones en el uso del suelo (con procesos acelerados de urbanización, cosecha directa, extracción de tierra de hojas, desmonte) y la omnipresencia de fenómenos acelerados de desertificación y cambio climático global.

Entre las formaciones boscosas de la Región Metropolitana y de las regiones adyacentes se encuentran los bosques de roble de Santiago. Nuevas observaciones indican que la regresión de estos bosques es acelerada, principalmente por mortalidad de los árboles, falta de regeneración natural y por el impacto directo de las actividades humanas.

Un caso reciente de impacto ecológico negativo sobre las comunidades boscosas de roble blanco lo constituyen las obras viales realizadas en la cuesta de La Dormida (comuna de Tiltill). El ensanchamiento y corrección del eje de la carretera motivó la tala y destronque de algunos de los individuos. A pesar de la oportuna intervención de

las instituciones responsables, un añoso ejemplar sufrió gran peligro, que aunque en condiciones lamentables, con su tronco carcomido por el fuego y algunas de sus ramas cortadas, aún produce abundantes semillas de muy buena capacidad germinativa. Es uno de los pocos individuos que en una población constituida principalmente por renuevos de cepa, produce semillas y asegura la dispersión y sobrevivencia de la especie. Las estimaciones realizadas sobre su edad llegan a atribuirle unos 700 años. En esto hay que considerar que es un individuo morfológico que —es casi seguro— proviene del rebrote de una antigua cepa. Este mecanismo de brotación de cepas y raíces en Fagaceae provoca la existencia de individuos biológicos de edades considerables (Muller 1951).

### POSICIÓN VEGETACIONAL

En las áreas de robleras de la zona central, consideradas en su conjunto, existen las siguientes grandes unidades vegetacionales:

**Bosque caducifolio.** Los robledales se encuentran aproximadamente entre los 600 y 2.000 metros de altitud. La principal especie de esta formación es el roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*). A menudo, como en otras formaciones de *Nothofagus*, el sotobosque es poco denso y el piso se encuentra cubierto por una densa capa de hojarasca. Son especies acompañantes el maquillo (*Azara petiolaris*), la zarzaparrilla (*Ribes punctatum*), la quila (*Chusquea commingii*), el radal (*Lomatia hirsuta*), el vautre (*Baccharis rhomboidalis*) y la topatopa (*Calceolaria polifolia*). Con frecuencia, bajo condiciones de alteración, hay un sotobosque denso con especies del bosque esclerófilo tales como peumo (*Cryptocarya alba*), trevo (*Retanilla trinervia*), oreganillos (*Teucrium bicolor* y *Satureja gilliesii*), quillay (*Quillaja saponaria*) y distintas especies del género *Baccharis*.

**Matorral andino.** En la parte más alta de las montañas (sobre los 2.000 msnm) está repartida en superficies reducidas una comunidad vegetal que es propia de la Cordillera de los Andes. En ella se encuentran la chuquiraga (*Chuquiraga oppositifolia*), el neneo (*Mulinum spinosum*), el horizonte (*Tetraglochin alatum*) y todavía unos pocos ejemplares de llaretilla (*Laretia acaulis*). Es un relicto de eras pasadas, probablemente un refugio de la vegetación durante las eras glaciares.

**Bosque higrófilo laurifolio.** Se encuentra en fondos de quebradas y lugares más húmedos, como las laderas



de orientación sur y de mayor pendiente, menos expuestas a la insolación. Éstas son condiciones especiales para el desarrollo de belloto (*Beilschmiedia miersii*), lingue (*Persea meyeniana*), peumo (*Cryptocarya alba*), canelo (*Drimys winteri*), boldo (*Peumus boldus*) y arrayán (*Luma chequen*).

**Bosque esclerofilo.** Predominan árboles y arbustos esclerofilos, de hojas duras y coriáceas<sup>11</sup>, como quillay (*Quillaja saponaria*), litre (*Lithrea caustica*), boldo (*Peumus boldus*) y colliguay (*Colliguaja odorifera*). Está en una situación desmedrada, por su explotación, y especialmente por efecto de los incendios forestales. Su fisonomía más frecuente es la de un monte bajo, con dosel de 4 a 6 m de altura y grandes espacios de claros cubiertos por vegetación de hierbas y arbustos bajos.

## RESUMEN

Las especies caducifolias del género *Nothofagus* encuentran en Chile central un límite fitogeográfico sujeto a una dinámica compleja en la historia geológica. En el último siglo han estado sometidas a una fuerte presión, motivada por la expansión de las actividades humanas. Entre las de mayor interés está el roble blanco o roble de Santiago, que estudios recientes reconocen en el rango de especie bajo el nombre *Nothofagus macrocarpa*. Se indican algunas características taxonómicas que permiten diferenciarlo de especies próximas, son señaladas algunas interrogantes sobre sus relaciones de parentesco, que es preciso investigar, y se plantean algunos aspectos necesarios de considerar para su conservación.

Este artículo fue publicado originalmente en la revista *Bosque Nativo* (Valdivia), 2001, 28: 3-7.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Donoso C. 1987. Variación natural en especies de *Nothofagus* en Chile. *Bosque* (Valdivia), 8(2): 85-97.
- Gajardo R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, 165 pp.
- Heusser CJ. 1983. Quaternary pollen record from laguna de Tagua-Tagua, Chile. *Science*, 219: 1429-1432.
- Muller CH. 1951. The significance of vegetative reproduction in *Quercus*. *Madroño*, 11: 120-137.
- Muñoz-Schick M, H Núñez & J Yáñez (eds.). 1996. Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal, Santiago, 203 pp.
- Polymeris C. 1993. El género *Nothofagus* Blume en Chile, algunas implicaciones de su diversidad biológica. *Ciencia e Investigación Forestal* (Santiago), 7(2): 359-375.
- Rodríguez R, O Matthei & M Quezada. 1983. Flora arbórea de Chile. Ediciones de la Universidad de Concepción, Concepción, 408 pp.
- San Martín J & C Donoso. 1996. Estructura florística e impacto antrópico en el bosque maulino de Chile en: Armesto JJ, MTK Arroyo & C Villagrán (eds.). *Ecología del bosque templado de Chile*, pp. 153-168. Editorial Universitaria (Santiago), 470 pp.
- Schmithüsen J. 1956. Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. *Bonner Geogr. Abhandlungen*, 17: 1-81.
- Simpson BB & CA Todzia. 1990. Patterns and processes in the development of the high andean flora. *American Journal of Botany*, 77(11): 1419-1432.
- Tanai T. 1986. Phytogeographic and phylogenetic history of the genus *Nothofagus* Blume (Fagaceae) in the Southern Hemisphere. *Journal of the Faculty of Sciences, Hokkaido University Series*, IV(21): 505-582.
- Van Steenis CGGJ. 1972. *Nothofagus*, key genus of plant geography en: Yalentine DH (ed.). *Taxonomy phytogeography and evolution*, pp. 275-289. Academic Press, London and New York.
- Vázquez FM & RA Rodríguez. 1999. A new subspecies and two new combinations of *Nothofagus* Blume (Nothofagaceae) from Chile. *Botanical Journal of Linnean Society* (London) 129: 75-83.

**Créditos fotográficos de este artículo:** página 43, Francisca Castro. Página 47: Foto 1, Francisca Castro. Foto 2, Gustavo Aldunate. Foto 3, Francisca Castro. Foto 4, Mélica Muñoz-S. Foto 5, María Victoria Legassa. Foto 6, Francisca Prieto.

<sup>11</sup> Consistencia como cuero.



## Nothofagus Bl., pieza clave en la reconstrucción de la biogeografía del hemisferio austral<sup>1</sup>

Andrés Moreira Muñoz,  
geógrafo, Universidad de Erlangen-Nürnberg, Alemania.  
amoreira@geographie.uni-erlangen.de

### INTRODUCCIÓN

Desde la visita del inglés J. D. Hooker a los territorios australes a bordo del buque "Erebus" de la Royal Navy (1839-1843), los naturalistas han intentado dilucidar las causas de la estrecha relación transpacífica entre las biotas de Australasia y Sudamérica. Las afinidades son marcadas en muchos grupos florísticos y faunísticos, los cuales exhiben un patrón de distribución disyunta en ambos continentes. Dos explicaciones (casi paradigmáticas) suelen competir: una es la dispersión a larga distancia, esto es, dispersión transoceánica desde un continente a otro por vía aérea o marítima; la segunda explicación se refiere al proceso de vicarianza, es decir, a la interposición de una barrera (en este caso un océano) como la causa de la fragmentación de una biota original, situada inicialmente en un continente único (Gondwana) fragmentado después, según la teoría de la tectónica de placas. El género *Nothofagus* se ha convertido en uno de los favoritos para probar dichas hipótesis biogeográficas, debido a la riqueza de especies actuales en Sudamérica y Oceanía, y también por su rico registro fósil. Los antecedentes paleobotánicos, corológicos y taxonómicos de *Nothofagus* nos permitirán profundizar hasta cierto punto en el problema de la reconstrucción biogeográfica del hemisferio sur.

### TAXONOMÍA Y FILOGENIA

El género *Nothofagus* fue descrito por Blume en 1850, como miembro de la familia Fagaceae, asociado con *Fagus* en la subfamilia Fagoideae (de ahí deriva el nombre *Nothofagus*: "falso *Fagus*"). Estudios recientes han propuesto incluir el género en una familia propia, formando el único género de la familia Nothofagaceae (Romero 1986, Cronquist 1988, Hill & Jordan 1993). Pero la relación filogenética de *Nothofagus* con los miembros de la familia Fagaceae está aún poco resuelta. Nixon (1989) ha propuesto una relación más cercana con Betulaceae, sin embargo, varios autores insisten en la estrecha relación entre *Nothofagus* y *Fagus* (Van Steenis 1971, Hill & Jordan 1993). Recientemente Li *et al.* (2004) han confirmado el parentesco, situando a *Nothofagus* y *Fagus* en un clado hermano al del resto de las familias del orden Fagales. En las Fotos 1 y 2 se aprecia la similitud morfológica de las cúpulas entre ambos géneros.

Van Steenis (1971) dividió el género *Nothofagus* en dos secciones: *Nothofagus* y *Calusparassus*; la primera sección corresponde básicamente a las especies de hoja caduca de Sudamérica, más la especie caducifolia *N. gunnii* de Tasmania. En la sección *Calusparassus* incluyó las especies siempreverdes de Oceanía, más las tres especies siempreverdes

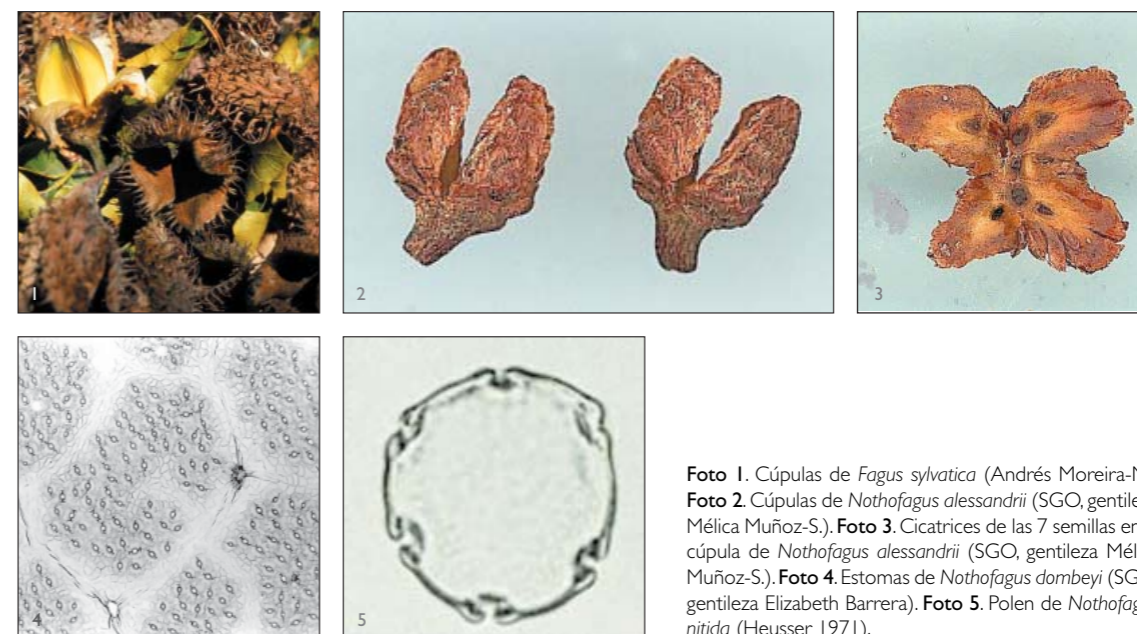


Foto 1. Cúpulas de *Fagus sylvatica* (Andrés Moreira-M). Foto 2. Cúpulas de *Nothofagus alessandrii* (SGO, gentileza Mélica Muñoz-S.). Foto 3. Cicatrices de las 7 semillas en la cúpula de *Nothofagus alessandrii* (SGO, gentileza Mélica Muñoz-S.). Foto 4. Estomas de *Nothofagus dombeyi* (SGO, gentileza Elizabeth Barrera). Foto 5. Polen de *Nothofagus nitida* (Heusser 1971).

sudamericanas (*N. betuloides*, *N. dombeyi* y *N. nitida*).

Estudios taxonómicos más recientes tienden a desestimar el carácter caducifolio/siempreverde como importante en la clasificación, favoreciendo las características morfológicas del polen; el carácter caducifolio/siempreverde tendría mayor significado ecológico que filogenético (Ramírez *et al.* 1997). La posibilidad de hibridación tanto entre las especies caducifolias (Donoso *et al.* 1990) como entre las especies caducifolias y siempreverdes (Steconci *et al.* 2004) sustenta esta última posición. Es así como Hill & Read (1991), Hill & Jordan (1993), Manos (1997) y Setoguchi *et al.* (1997) reconocen cuatro grupos monofiléticos concordantes con las diferencias del polen. Dichos grupos han sido propuestos en la categoría de subgéneros: *Brassospora*, *Nothofagus*, *Fuscospora* y *Lophozonia*.

Hill & Jordan (1993) proponen como género basal en la filogenia a *Fuscospora*, incluyendo la especie *N. alessandrii*, también propuesta por Van Steenis (1971) como la especie más ancestral del género, debido a sus cúpulas de 7 flores (Foto 3). En cambio Setoguchi *et al.* (1997) y Manos (1997), basados en análisis morfológicos y moleculares, sitúan al subgénero *Lophozonia* en la base de la filogenia, como se muestra en la Fig. 1, principalmente debido a la presencia de cúpulas con tricomas simples, un perianto abierto estaminado con más de 20 estambres, y polen con colpos en forma de "V". El grupo filogenético hermano que contiene a los demás subgéneros está sustentado por cúpulas con lamelas membranosas, polen con colpos cortos engrosados internamente, y hojas con tricomas unicelulares solitarios

tipo C. En este grupo, el subgénero *Fuscospora* está determinado por la presencia de tricomas unicelulares de tipo A y la ausencia de tricomas cónicos unicelulares. La relación de parentesco entre los subgéneros *Brassospora* y *Nothofagus* se caracteriza por estípulas peltadas y estomas de igual tamaño (Foto 4). El subgénero *Brassospora* en cambio se reconoce por cúpulas con dos valvas simétricas, flores pistiladas dímeras, polen con amb poligonal, madera sin traqueidas, vernación de la hoja conduplicada y estomas grandes. El subgénero *Nothofagus* se caracteriza por los colpos del polen con engrosamientos externos (Foto 5), hojas sin piezas T de cutina en los polos estomáticos, y con estomas paralelos al eje longitudinal de la hoja (Manos 1997).

En relación con la filogenia propuesta por Hill & Jordan (1993), en la cual el subgénero *Fuscospora* es el que aparece como basal, Manos (1997, p. 1145) opina que las características del polen no fueron adecuadamente interpretadas. Pero reconoce que *Fuscospora* muestra numerosos caracteres ancestrales, por lo que no aparece como monofilético en todos los árboles morfológicos que arroja su estudio.

### PALEBOTÁNICA: ESPECIACIÓN V/S EXTINCIÓN

El registro fósil de *Nothofagus* está compuesto de microfósiles (polen) y macrofósiles (hojas y frutos). El polen

<sup>1</sup> El título de este artículo se inspira en los trabajos de Van Steenis, y constituye un sencillo homenaje a este eximio conocedor de la flora austral.

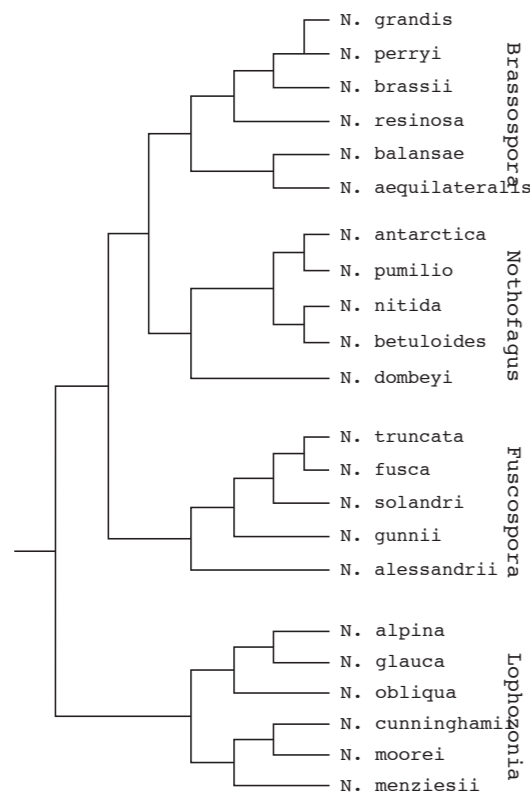


Figura 1. Relación filogenética de los cuatro subgéneros de *Nothofagus*, sobre la base de 22 especies analizadas (Manos 1997).

resulta de especial utilidad pues es producido en grandes cantidades, es morfológicamente distintivo y se conserva muy bien en depósitos sedimentarios (Hill & Dettmann 1996, Hill 2001). Actualmente se pueden reconocer ocho tipos de polen en el género; cuatro se encuentran en las especies actuales (tipos *brassii*, *fusca* A, *fusca* B, *menziesii*) y los demás en las especies fósiles (Dettmann *et al.* 1990). La ocurrencia más antigua que se conoce comprende la presencia de los cuatro tipos actuales de polen en depósitos del Cretácico superior de la Antártica (Campaniano =

	<i>Lophozonia</i>	<i>Fuscospora</i>	<i>Nothofagus</i>	<i>Brassospora</i>
Campaniano/Maastrichtiano (83-65 Ma)	Antártica, Sudamérica	Antártica, Sudamérica	Antártica, Sudamérica	Antártica, Sudamérica
Paleoceno (65-53 Ma)	Australia	Australia, Tasmania, Nueva Zelandia	Australia, Tasmania, Nueva Zelandia	Australia, Tasmania
Eoceno (53-34 Ma)	Nueva Zelandia, Tasmania	–	–	Nueva Zelandia
Mioceno (23-5 Ma)	–	–	–	Nueva Guinea

Tabla 1. Registro microfósil de *Nothofagus* (polen) en diferentes épocas y territorios durante el Cretácico y Terciario. Simplificado de Swenson *et al.* (2001).

ca. 83 Ma) y de Sudamérica (Maastrichtiano = ca. 70 Ma), (Tabla 1). También se encuentran los cuatro tipos en depósitos más modernos de Australia, Tasmania y Nueva Zelandia, lo que sugiere una distribución ancestral continua para los cuatro subgéneros, desde Sudamérica hasta Australasia a través de la Antártica. Su presencia en la Antártica habría durado hasta la glaciación ocurrida durante el Plioceno (Hill & Dettmann 1996).

El registro fósil de *Nothofagus* se conoce en América a partir del Maastrichtiano (fines del Cretácico, ca. 70 Ma), (Troncoso & Romero 1998), lo que coincide con la mayor expansión del género en la historia de Sudamérica.

Como los cuatro mayores linajes (subgéneros) ya existían en el Cretácico tardío (80 Ma), antes del desmembramiento total de Gondwana, muchos taxa actuales deben haber sufrido un proceso de especiación simpátrica en un rango geográfico en ese entonces continuo (Swenson *et al.* 2001); las posibilidades de hibridación entre especies actuales sustentan esta hipótesis. Los posteriores eventos de fragmentación de la biota no harían más que acentuar el proceso de especiación, y el patrón actual disyunto estaría dado principalmente por las extinciones (Manos 1997, Swenson *et al.* 2001). Macrofósiles de hojas y cúpulas similares a *N. betuloides* y *N. dombeyi* (subgénero *Nothofagus*) encontrados en depósitos oligocénicos de Tasmania, demuestran la presencia y posterior extinción de este grupo en Australasia (Hill 1991). También el registro microfósil muestra la extinción de especies de *Brassospora* en Sudamérica, Antártica y Nueva Zelandia, y de especies del subgénero *Nothofagus* en Antártica, Tasmania y Nueva Zelandia (Manos 1997).

La extinción en Australia incluye a los subgéneros *Brassospora* y *Nothofagus* (así como 10 géneros de Podocarpaceae y dos géneros de Araucariaceae, Crisp *et al.* 2004). Según Hill (2001), la mayor diversidad de especies de *Nothofagus* en Australia sudoriental sucedió entre el Oligoceno tardío y el Mioceno, incluidos los cuatro subgéne-

ros y 10 especies (en la actualidad sólo hay dos especies, Tabla 2). Si bien la descripción e interpretación tanto de macro y microfósiles de *Nothofagus* no está exenta de dificultades (Hill 2001), el registro fósil del género es uno de los más informativos en la paleobotánica del hemisferio austral, de manera que incluso su ausencia es informativa: la inexistencia de fósiles del género en India y África permite suponer un origen y radiación posterior a la separación de estos territorios en los inicios de la fragmentación del megacontinente Gondwana.

### DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL (COROLOGÍA)

El género *Nothofagus* posee una distribución disyunta en los territorios del Pacífico austral, desde los 33° a 55°S en Sudamérica, y desde el Ecuador (0°) hasta 47°S en Oceanía: Nueva Guinea (incluyendo las islas de Entrecasteaux y Nueva Bretaña), Nueva Caledonia, Australia, Tasmania y Nueva Zelandia (Van Steenis 1971).

Las 36 especies actualmente reconocidas se distribuyen en Australasia y el sur de Sudamérica, como muestra la Tabla 2.

En la Fig. 2 se indican los trazos que unen las especies que componen los subgéneros de *Nothofagus*, mostrando tres patrones disyuntos: entre las especies de *Lophozonia* (Fig. 2a), entre las especies de *Fuscospora* (Fig. 2b), y el patrón disyunto entre los subgéneros *Nothofagus* y *Brassospora* (Fig. 2c). Las respectivas relaciones filogenéticas han sido representadas siguiendo la hipótesis filogenética de Manos (1997).

Subgénero	Tipo de polen	Distribución	N° sp.	Especie
<i>Nothofagus</i>	<i>fusca</i> A	Sudamérica	5	<i>N. antarctica</i> , <i>N. betuloides</i> , <i>N. dombeyi</i> , <i>N. pumilio</i> , <i>N. nitida</i>
<i>Fuscospora</i>	<i>fusca</i> B	Sudamérica Tasmania Nueva Zelandia	1 1 3	<i>N. alessandrii</i> <i>N. gunnii</i> <i>N. truncata</i> , <i>N. fusca</i> , <i>N. solandri</i>
<i>Lophozonia</i>	<i>menziesii</i>	Sudamérica Nueva Zelandia Australia - Tasmania Australia	4 1 1 1	<i>N. alpina</i> , <i>N. glauca</i> , <i>N. macrocarpa</i> , <i>N. obliqua</i> <i>N. menziesii</i> <i>N. cunninghamii</i> <i>N. moorei</i>
<i>Brassospora</i>	<i>brassii</i>	Nueva Caledonia Nueva Guinea	5 14	<i>N. balansae</i> , <i>N. baumanniae</i> , <i>N. codonandra</i> , <i>N. discoidea</i> , <i>N. aequilateralis</i> , <i>N. brassii</i> , <i>N. carrii</i> , <i>N. crenata</i> , <i>N. flaviramea</i> , <i>N. grandis</i> , <i>N. nuda</i> , <i>N. perryi</i> , <i>N. pseudoresinosa</i> , <i>N. pullei</i> , <i>N. resinosa</i> , <i>N. rubra</i> , <i>N. starkenborghii</i> , <i>N. stylosa</i> , <i>N. womersleyi</i>

Tabla 2. Composición y distribución geográfica de subgéneros de *Nothofagus*. Fuente: varios autores en Veblen *et al.* 1996; Rodríguez & Quezada (2003) para las especies sudamericanas.

### VICARIANZA V/S DISPERSIÓN Y CENTROS DE ORIGEN

La impresión que tuvo J.D. Hooker en la visita a los territorios australes fue la de una antigua biota continua, fragmentada posteriormente por eventos climáticos y geológicos. Luego los biogeógrafos inventaron complicadas narrativas incluyendo centros de origen y dispersión: por ejemplo, Darlington (1965) postuló para *Nothofagus* un centro de origen en el hemisferio norte (Asia) con posteriores eventos de migración (dispersión de larga distancia) hacia el sur. También en la década del '60, Cranwell (1963) propuso un origen y posterior radiación austral, hipótesis concordante con los registros más antiguos del polen en la Antártica y Sudamérica, lo cual soporta un origen del género en Gondwana occidental (Romero 1986). Van Steenis (1971) planteó la hipótesis de una evolución contemporánea *Fagus-Nothofagus* a partir de una matriz "Fagacea" original, en el Sudeste Asiático, donde además confluyen representantes de casi todos los géneros de la familia Fagaceae (*Castanea*, *Castanopsis*, *Lithocarpus*, *Quercus* y *Trigonobalanus*). Los territorios que actualmente separan el rango de distribución de *Nothofagus* y *Fagus* (desde el sur de China hasta Nueva Guinea), (Fig. 3) tal vez albergaron un ancestro común para ambos géneros, dando paso a un proceso de especiación alopatrica al momento de separarse los clados. Este rango de distribución bihemisférico es compartido por varios taxa no relacionados directamente con *Nothofagus*, por ejemplo *Euphrasia* (Van Steenis 1971). Ello hizo suponer a Van Steenis un proceso biogeográfico generalizado común para

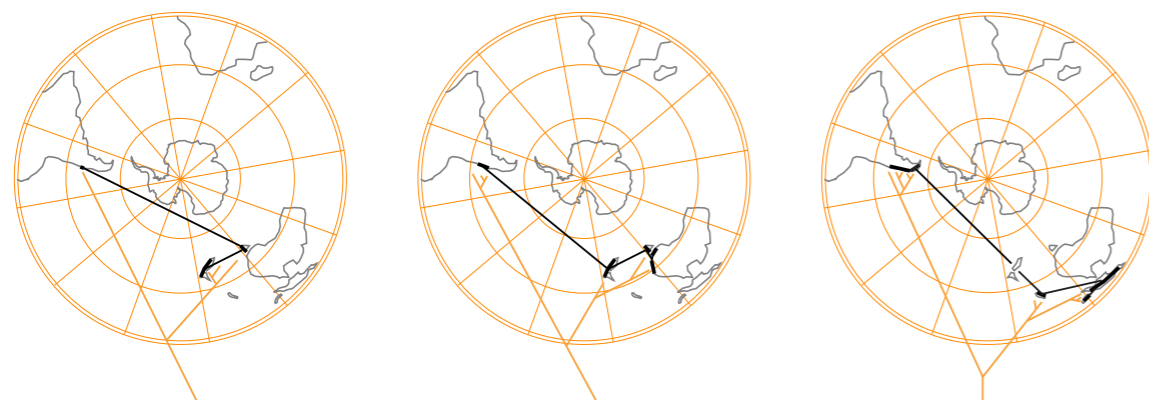


Figura 2. Trazos que unen los territorios de las especies de *Nothofagus* (subgéneros), y su relación con la filogenia de Manos (1997), (Fig. 1).



Figura 3. Distribución geográfica bihemisférica de *Fagus* (gris) y *Nothofagus* (naranja).

la biota austral. El autor interpreta el origen del proceso mediante la teoría de “land bridges”, que postula tierras emergidas en diferentes épocas, que habrían conectado los territorios actuales.

Esta hipótesis ha sido reemplazada por los modernos modelos de deriva continental a partir de la teoría de la tectónica de placas. Esto ha dado un impulso al desarrollo de la biogeografía de la vicarianza (biogeografía cladística), uno de los programas de investigación que más fuerza ha tomado en biogeografía. Los métodos utilizados consisten básicamente en la generación y comparación de cladogramas de áreas o areogramas. En dichos cladogramas, basados en los tradicionales cladogramas

filogenéticos, se reemplazan los taxa terminales por las áreas que ocupan (Fig. 4). Las áreas pasan a ser “áreas de endemismo”, teniendo como condición la de compartir dos o más taxa. Sin embargo, Humphries (1981), uno de los máximos exponentes de la biogeografía cladística, no logra resolver de manera muy convincente la historia biogeográfica de *Nothofagus*, argumentando después del análisis que “*Nothofagus* no es informativo de la biogeografía austral”. Heads (1985) criticó enfáticamente dicha conclusión, aduciendo que lo único demostrado en este caso es la débil capacidad de los métodos utilizados. Pero Humphries (1985) defendería a brazo partido su enfoque. Posteriormente, utilizando los métodos de biogeografía cla-

dística, Linder & Crisp (1995) llegaron a la conclusión de que los fenómenos de especiación son bastante congruentes con los eventos de fragmentación de Gondwana a partir del Cretácico medio.

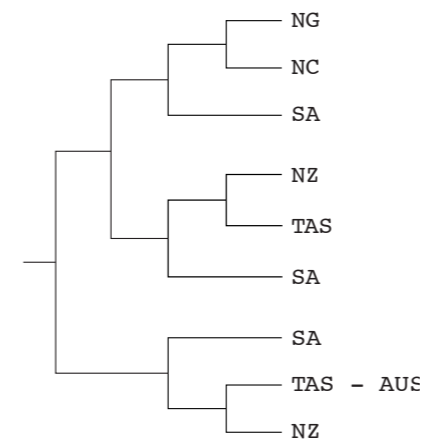


Figura 4. Cladograma de áreas para *Nothofagus* basado en la filogenia de Manos (1997), presentada en la Fig. 1. Abreviaciones: AUS = Australia, NC = Nueva Caledonia, NG = Nueva Guinea, NZ = Nueva Zelanda, TAS = Tasmania y SA = Sudamérica.

Swenson *et al.* (2001) retoman el enfoque y sobre la base de la filogenia de Manos (1997) proponen tres eventos de vicarianza: uno en el subgénero *Lophozonia* ocurrido en el Eoceno (35 Ma), que corresponde a la separación entre Antártica/Sudamérica y Australia; otro en *Fuscospora* ocurrido en el Cretácico (80 Ma), que corresponde a la separación entre Nueva Zelanda/Nueva Caledonia y el resto de Gondwana; y un evento que habría separado también tempranamente (Cretácico, 80 Ma) los dos clados del subgénero *Brassospora* entre Nueva Caledonia y Nueva Guinea. Los taxa disyuntos que no se explican mediante vicarianza son atribuidos a dispersión de larga distancia, como *N. gunnii*, *N. alessandrii* y *N. menziesii*. Esto podría insinuar un acercamiento entre los enfoques de vicarianza y dispersión, pero más bien muestra aún la ligazón con las narrativas biogeográficas dispersalistas; esto es, todo lo que no se puede explicar mediante vicarianza “debe ser” por dispersión de larga distancia. Sanmartín & Ronquist (2004, p. 237) afirman de manera explícita que “un evento de dispersión es simplemente un evento de vicarianza no predicho por el cladograma de áreas”. Pero una pregunta queda flotando en el aire (agua): ¿es posible efectivamente la dispersión de larga distancia según las características de los frutos y semillas? Investigaciones tempranas fueron tajantes en eliminar esta posibi-

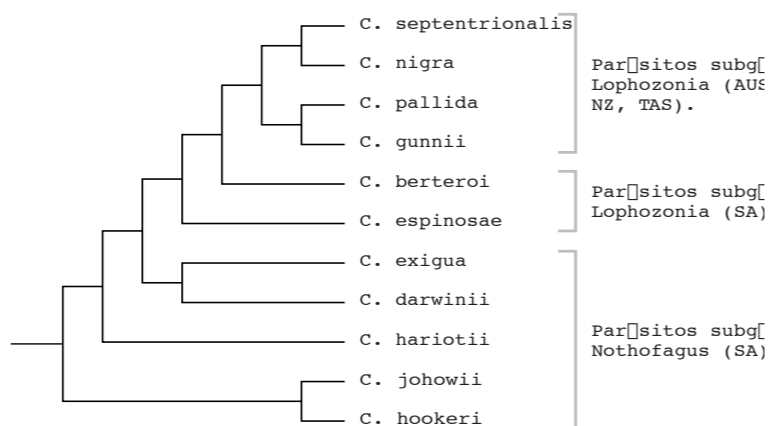
lidad (Preest 1963, Burrows & Lord 1993), pero las interpretaciones que explican disyunciones transcontinentales mediante dispersión de larga distancia han resurgido con fuerza, debido a que las dataciones evolutivas mediante relojes moleculares, aplicadas a los taxa australes, arrojan resultados mucho más jóvenes que los eventos tectónicos de fragmentación del continente Gondwana (e.g. Crisp *et al.* 2004). No obstante, las técnicas de datación molecular no están exentas de supuestos e incertidumbres recientemente sometidas a crítica (Heads 2004).

### NOTHOFAGUS Y TAXA ASOCIADOS

Muchos taxa de diversa jerarquía muestran el mismo patrón disyunto Sudamérica-Australasia, como *Araucaria*, *Azorella*, *Jovellana*, *Laurelia*, *Eucryphia*, *Orites*, Winteraceae. La existencia de dichos taxa que muestran el mismo patrón de distribución ha hecho postular a varios autores, desde Hooker a Van Steenis, que lo más probable es que la biota austral haya sido un continuo que se ha ido fragmentando producto del paulatino proceso de vicarianza y especiación. Es decir, la biota austral ha sufrido un proceso evolutivo generalizado, que es muy difícil de interpretar como eventos aislados de dispersión de larga distancia. Incluso grupos que se reproducen mediante esporas ampliamente distribuidas por el viento (Muñoz *et al.* 2004), como los musgos, muestran señales del proceso de vicarianza (McDaniel & Shaw 2003). Volviendo a *Nothofagus*, varios autores resuelven la especie neozelandesa *N. menziesii* como el producto de un evento de dispersión de larga distancia (Hill & Dettmann 1996, Swenson *et al.* 2001). Sin embargo, *N. menziesii* es parasitado por tres especies diferentes del hongo *Cyttaria*. Dos de ellas, *C. pallida* y *C. nigra* tienen como único hospedero a dicho *Nothofagus*. Es más probable que esta relación sea producto de un evento ancestral de vicarianza, tal como proponen Humphries *et al.* (1986).

El análisis detallado de la filogenia de *Cyttaria* (Crisci *et al.* 1988, Barrera 2004) muestra una interesante relación con la filogenia de *Nothofagus* (Fig. 5): las especies más basales parasitan las especies del subgénero sudamericano *Nothofagus*, mientras que las especies más derivadas parasitan las especies del subgénero *Lophozonia*, tanto sudamericanas como australasianas<sup>2</sup>. Es decir, un análisis filogenético independiente sustenta la monofilia de dos subgéneros de *Nothofagus*. Pero la filogenia de

Figura 5. Filogenia de los hongos del género *Cyttaria*, parásitos de *Nothofagus* (relación filogenética según Crisci et al. 1988).



*Cyttaria* a la vez arroja una interrogante sobre las relaciones entre los subgéneros en la hipótesis de Manos (1997), pues sugiere una mayor cercanía evolutiva entre los subgéneros *Lophozonia* y *Nothofagus*. Esto demuestra que el análisis integrado de taxa relacionados puede dar importantes luces tanto sobre la biogeografía como sobre la taxonomía de un grupo. Específicamente en cuanto a las relaciones de parasitismo, la “regla de Fahrenholz” predice que en el caso de parasitismo permanente, las relaciones del hospedero pueden deducirse de la sistemática del parásito (Mitter & Brooks 1983, Humphries et al. 1986).

## COROLARIO

Manos (1997) ha desarrollado hasta el momento la hipótesis filogenética más convincente para *Nothofagus*; sin embargo, en la introducción de su trabajo afirma que el género se distribuye en áreas de endemismo bien definidas, y que tanto la edad como el origen del género son conocidos con gran certeza. Lo único cierto es que los fósiles más antiguos hasta ahora conocidos datan del Campaniano (Cretácico superior = 83 Ma), y se han encontrado en el Territorio Antártico, pero varios centros de origen han sido postulados para el género. El desarrollo evolutivo de los actuales taxa de *Nothofagus* es aún controvertido, y la presencia de muchos taxa extintos dificulta el diseño de una explicación general para la evolución del género. Además podemos ver que

el patrón de distribución de las especies y subgéneros no calza con áreas de endemismo bien definidas, por lo cual no existe todavía una explicación totalmente coherente para el patrón general disyunto. Dicho patrón transpacífico es compartido por numerosos géneros en distintas familias no directamente relacionadas. Tal como lo expresara Van Steenis (1971), *Nothofagus* es ciertamente una pieza clave en los estudios biogeográficos, pero para lograr una reconstrucción coherente de la historia de la biota austral, no se puede analizar el género como un fenómeno aislado, sino en conjunto con otros taxa australes que muestran similar patrón de disyunción transpacífica, así como coincidencia en los centros de riqueza y áreas de endemismo. Los enfoques permanecen en pugna y conceptos básicos como “centro de origen” y “área de endemismo” han sido permanentemente criticados (Cain 1944, Harold & Mooi 1994), insinuando aún tímidamente la (r)evolución de las herramientas biogeográficas teóricas y metodológicas para descifrar las claves del pasado.

## AGRADECIMIENTOS

A Mélica Muñoz Schick y Elizabeth Barrera del Museo Nacional de Historia Natural (SGO), por información taxonómica y corológica de *Nothofagus* y *Cyttaria*. A Federico Luebert por comentarios y sugerencias bibliográficas. Se agradece también el financiamiento del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

<sup>2</sup> La presencia de *Cyttaria gunnii* como parásito de *Nothofagus solandri* (subgénero *Fuscospora*) en Nueva Zelanda es contradictoria (Crisci et al. 1988, McKenzie et al. 2000), por lo tanto se ha omitido del presente análisis.

## GLOSARIO

**amb** = vista del contorno ecuatorial de una espora o grano de polen, con el eje polar dirigido hacia el observador.

**areagrama** = cladograma de áreas, esto es, cladograma en que los taxa terminales han sido sustituidos por el área que ocupan.

**cladograma** = diagrama que representa las relaciones jerárquicas evolutivas entre los taxones.

**colpo** = surco o abertura alargada con una relación largo-ancho mayor que 2.

**conduplicada** = se aplica a las hojas en las yemas dobladas a lo largo de su nervio medio, que es el tipo más frecuente de vernación.

**corología** = distribución geográfica de un taxón.

**cúpula** = envoltura del fruto en la familia Fagaceae.

**cutina** = capa de material graso que se encuentra externamente a la pared de las células epidérmicas.

**dímera** (flor) = flor en que cada verticilo está formado por dos piezas.

**distribución disyunta** (disyunción) = rango discontinuo de un taxón, en el cual dos grupos estrechamente relacionados están separados por una gran distancia geográfica.

**especiación alopátrica** = surgimiento de especies como resultado de la evolución divergente de poblaciones geográficamente aisladas.

**especiación simpátrica** = surgimiento de nuevas especies a partir de poblaciones que comparten una misma área, es decir, no aisladas geográficamente.

**filogenia** (filogenético) = hipótesis de relaciones evolutivas entre taxones.

**Ma** = millones de años.

**monofilia** (monofilético) = grupo que incluye a todos los taxa que supuestamente descienden de un ancestro común.

**peltado** = órgano redondeado y con el vástago inserto en el medio, como un escudo.

**traqueida** = célula de paredes gruesas, alargada, conductora y de soporte de xilema.

**tricoma** = cualquier excrecencia epidérmica que constituye un resalto en la superficie de los órganos vegetales. El más común es el pelo.

**vernación** = postura de cada una de las hojas en la yema durante la primavera.

**vicarianza** = proceso de separación de taxa estrechamente relacionados o de una biota continua.

**xilema** = tejido vascular complejo a través del cual se conduce la mayor parte del agua y de los minerales de la planta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera E. 2004. Especies chilenas de *Cyttaria* Berkeley (Cyttariaceae). Revista Chagual: este número.
- Burrows CJ & JM Lord. 1993. Recent colonisation by *Nothofagus fusca* at Cass, Canterbury. New Zealand Journal of Botany 31: 139-146.
- Cain SA. 1944. Foundations of Plant Geography. Harper & Brothers, New York and London.
- Cranwell LM. 1963. *Nothofagus*: living and fossil in: Gressitt JL (ed.). Pacific basin biogeography, 387-400. Bishop Museum Press, Hawaii.
- Crisci JV, I Gamundí & MN Cabello. 1988. A cladistic analysis of the genus *Cyttaria* (Fungi-Ascomycotina). Cladistics 4: 279-290.
- Crisp M, L Cook & D Stean. 2004. Radiation of the Australian flora: what can comparisons of molecular phylogenies across multiple taxa tell us about the evolution of diversity in present-day communities? Philosophical Transactions: Biological Sciences 359(1450): 1551-1571.
- Cronquist A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. 2nd. ed. New York Botanical Garden.
- Darlington PJ. 1965. Biogeography of the Southern End of the World. Harvard University Press.
- Dettmann ME, DT Pocknall, EJ Romero, M del C Zamalao. 1990. *Nothofagidites* Erdman ex Potonie 1960: a catalogue of species with notes on the paleogeographic distribution of *Nothofagus* BL (Southern Beech). New Zealand Geological Survey Palaeontological Bulletin 60: 1-79.
- Donoso C, J Morales & M Romero. 1990. Hibridación natural entre roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) y raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) en bosques del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 63: 49-60.
- Harold AS & RD Mooi. 1994. Areas of Endemism: Definition and Recognition Criteria. Systematic Biology 43(2): 261-266.
- Heads M. 1985. Biogeographic analysis of *Nothofagus* (Fagaceae). Taxon 34(3): 474-480.
- Heads M (in press). Dating nodes on molecular phylogenies: a critique of molecular biogeography. Cladistics.
- Heusser CJ. 1971. Pollen and spores of Chile. The University of Arizona Press.
- Hill RS & J Read. 1991. A revised infrageneric classification of *Nothofagus* (Fagaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 105: 37-72.

- Hill RS & GJ Jordan. 1993. The evolutionary history of *Nothofagus* (Nothofagaceae). Australian Systematic Botany 6: 111-126.
- Hill RS & ME Dettmann. 1996. Origin and Diversification of the Genus *Nothofagus* in: Veblen TT, RS Hill & J Read (eds.). The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests, pp. 11-24.
- Hill RS. 2001. Biogeography, evolution and palaeoecology of *Nothofagus* (Nothofagaceae): the contribution of the fossil record. Australian Journal of Botany 49: 321-332.
- Humphries CJ. 1981. Biogeographic methods and the southern beeches in: Forey PL (ed.). The evolving biosphere, 283-297. Cambridge Univ. Press.
- Humphries CJ. 1985. Temperate biogeography and an intertemperate botanist. Taxon 34(3): 480-492.
- Humphries CJ, JM Cox & ES Nielsen. 1986. *Nothofagus* and its parasites: a cladistic approach to coevolution in: Stone AR & DL Hawksworth (eds.). Coevolution and Systematics, pp. 55-76. Clarendon Press, Oxford.
- Li RQ, ZD Chen, AM Lu, DE Soltis, PS Soltis & PS Manos. 2004. Phylogenetic relationships in Fagales based on DNA sequences from three genomes. International Journal of Plant Sciences 165(2): 311-324.
- Linder HP & MD Crisp. 1995. *Nothofagus* and Pacific biogeography. Cladistics 11: 5-32.
- Manos PS. 1997. Systematics of *Nothofagus* (Nothofagaceae) based on rDNA spacer sequences (ITS): taxonomic congruence with morphology and plastid sequences. American Journal of Botany 84(9): 1137-1155.
- McDaniel SF & AJ Shaw. 2003. Phylogeographic structure and cryptic speciation in the trans-antarctic moss *Pyrrhobryum mnioides*. Evolution 57(2): 205-215.
- McKenzie EHC, PK Buchanan & PR Johnston. 2000. Checklist of fungi on *Nothofagus* species in New Zealand. New Zealand Journal of Botany 38(4): 635-720.
- Mitter C & DR Brooks. 1983. Phylogenetic aspects of coevolution in: Futuyama DJ & M Slatkin (eds.). Coevolution, pp. 65-98. Sinauer Associates, Massachusetts.
- Muñoz J, AM Felicísimo, F Cabezas, AR Burgaz & I Martínez. 2004. Wind as a Long-Distance Dispersal Vehicle in the Southern Hemisphere. Science 304: 1144-1147.
- Nixon KC. 1989. Origins of Fagaceae in: Crane PR & S Blackmore (eds.). Evolution, Systematics, and Fossil History of the Hamamelidae, vol. 1: 23-43. Clarendon Press, Oxford.
- Preest DS. 1963. A note on the dispersal characteristics of the seed of New Zealand podocarps and beeches and their biogeographical significance in: Gressitt JL (ed.). Pacific Basin Biogeography, pp. 415-424. Bishop Museum Press, Hawaii.
- Ramírez C, C San Martín, A Oyarzún & H Figueroa. 1997. Morpho-ecological study on the South American species of the genus *Nothofagus*. Plant Ecology 130: 101-109.
- Rodríguez R & M Quezada. 2003. Fagaceae in: Marticorena C & R Rodríguez. Flora de Chile vol. 2(2): 64-75. Universidad de Concepción, Chile.
- Romero EJ. 1986. Fossil evidence regarding the evolution of *Nothofagus*. Annals Missouri Bot. Gard. 73(2): 276-283.
- Sanmartín I & F Ronquist. 2004. Southern hemisphere biogeography inferred by event-based models: plant versus animal patterns. Systematic Biology 53(2): 216-243.
- Setoguchi H, M Ono, Y Doi, H Koyama & M Tsuda. 1997. Molecular phylogeny of *Nothofagus* (Nothofagaceae) based on the atpB-rbcL intergenic spacer of the chloroplast DNA. Journal of Plant Research 110(1100): 469-484.
- Stecconi M, P Marchelli, J Puntieri, P Picca & L Gallo. 2004. Natural hybridization between a deciduous (*Nothofagus antarctica*, Nothofagaceae) and an evergreen (*N. dombeyi*) forest tree species: evidence from morphological and isoenzymatic traits. Annals of Botany 94(6): 775-786.
- Swenson U, RS Hill & S McLoughlin. 2001. Biogeography of *Nothofagus* supports the sequence of Gondwana break-up. Taxon 50: 1025-1041.
- Troncoso A & EJ Romero. 1998. Evolución de las comunidades florísticas en el extremo sur de Sudamérica durante el Cenofítico en: Fortunato R & N Bacigalupo (eds.). Proceedings of the VI Congreso Latinoamericano de Botánica. Monographs in Systematic Botany, Missouri Botanical Garden, vol. 68: 149-172.
- Van Steenis CGGJ. 1971. *Nothofagus*, key genus of plant geography, in time and space, living and fossil, ecology and phylogeny. Blumea 19(1): 5-98.
- Veblen TT, RS Hill & J Read (eds.). 1996. The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests. Yale University Press.

## El género *Misodendrum* DC. en Chile

Mélica Muñoz Schick, botánica,  
Museo Nacional de Historia Natural.  
mmunoz@mnhn.cl

La familia Misodendraceae tiene como único representante al género *Misodendrum*, con 8 especies: 7 en Chile y Argentina, y una endémica de nuestro país.

En 1858 Agardh consideró a este género como el tipo de una pequeña familia: Misodendraceae, intermedia entre las Loranthaceae y las Santalaceae, en el orden Santalales. En 1880 Bentham y Hooker, desconociendo el trabajo de Agardh, pasaron el género a las Santalaceae, por similitudes en las estructuras de pistilo, placentación y óvulos. En 1889 Hieronymus nuevamente la consideró una familia independiente, y hoy, de acuerdo al Código de Nomenclatura Botánica, se respeta tal como fue propuesta por Agardh (Rossow 1982).

En años recientes los resultados del estudio cladístico<sup>1</sup> (Zavaro *et al.* 1997) indican que las familias Santalaceae, Viscaceae, Loranthaceae y Eremolepidaceae pertenecen a la misma línea filogenética<sup>2</sup>, y que esta última familia es el grupo hermano de las Misodendraceae. Además el género



**Foto 1.** *Misodendrum linearifolium* en cerro El Roble, noviembre 2004 (Sergio Moreira). **Foto 2.** *Misodendrum punctulatum* en flor. Aisén, Bahía Catalina, febrero 2004 (Mélica Muñoz-S.). **Foto 3.** *Misodendrum punctulatum* en fruto. Aisén, Bahía Catalina, febrero 2004 (Mélica Muñoz-S.).

<sup>1</sup> Método de reconstrucción de la filogenia relativo a patrones de ramificación.

<sup>2</sup> Árbol genealógico de la probable derivación de unos organismos a partir de otros, o historia evolutiva de un taxón.

*Misodendrum* es un grupo monofilético<sup>3</sup> caracterizado por su perianto aclamídeo<sup>4</sup> (Zavaro *et al.* 1997).

*Misodendrum* fue creado por De Candolle en 1830 y ha sido estudiado por diversos autores. Existen tres monografías de esta familia: Skottsberg 1914, Orfila 1978 y Rossow 1984, y dos sinopsis: Rossow 1982 y Zavaro *et al.* 1997. El nombre deriva del griego *myzo* = sobre y *dendron* = árbol. Alude al hábito de estas plantas hemiparásitas<sup>5</sup>, asociadas principalmente a especies del género *Nothofagus*.

### ¿CÓMO SE ORIGINÓ EL NOMBRE?

Joseph Banks fue uno de los naturalistas que acompañó a James Cook en su primer viaje a Tierra del Fuego, en 1769. Forster (Comment. Goetting. IX: 45, 1789) se basó en una etiqueta de herbario de Banks y publicó, sin ninguna descripción (*nomen nudum*) el género como *Myzodendron*. Por esta razón, la publicación válida del género la hizo varios años más tarde De Candolle bajo el nombre –mal escrito– *Misodendrum*, en Coll. Mém. VI: 12, 1830, y es el que debe usarse.

### DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

En contraste con otros parásitos de los *Nothofagus*, como por ejemplo insectos conchuela de la familia Eriococcidae (Humphries *et al.* 1986) u hongos del género *Cyttaria* (Crisci *et al.* 1988), *Misodendrum* es endémico del sur de Sudamérica. No está presente en las otras regiones del hemisfe-

rio austral, como Tasmania, Nueva Zelandia, Nueva Guinea o Australia, que poseen el género *Nothofagus* en su flora. Según Orfila (1978) “esto demostraría que los *Misodendrum* pueden ser taxones relativamente posteriores a la aparición de los *Nothofagus*, o que solamente un sector marginal de esa posible enorme área de origen de estas Fagaceae hubiera estado en contacto con el núcleo de dispersión de los *Misodendrum*”.

En Chile las especies habitan desde la Región de Valparaíso hasta la de Magallanes (entre 33° y 56° lat. S) y en Argentina desde el N de Neuquén hasta Tierra del Fuego (entre 36° 30' y 55° lat. S).

*Misodendrum linearifolium* presenta la distribución más boreal del género, ya que vive en los bosques de *Nothofagus macrocarpa* o “roble de Santiago”. Este roble marca el límite norte de distribución del género en Sudamérica, en el cerro El Roble y Parque Nacional La Campana (Elórtégui & Moreira 2002); lo mismo sucede con otros parásitos como *Cyttaria berteroi* y *C. spinosae* o “ligüehne, digüehne” (Looser 1927).

### HÁBITO

Estudios recientes del hábito e historia de vida de la especie *M. punctulatum* indican que al inicio de su desarrollo presenta un período de incubación holotrófico<sup>6</sup> de varios años, antes de producir estructuras aéreas. La duración de este período es más extenso (4 a 6 años) en bosques subalpinos de *Nothofagus pumilio* y más corto (2 años) en matorrales de *N. antarctica* en bajas altitudes. *M. punctulatum* infecta principalmente ramas jóvenes (< 4 años), lo que sugiere una fuerte limitación mecánica del haustorio<sup>7</sup> para penetrar cortezas de mayor espesor (Tercero-Bucardo & Kitzberger 2004).

<sup>3</sup> Cuando una rama jerárquica cualquiera se supone que deriva de una sola forma fundamental primitiva, o grupo que incluye a todos los taxones que descienden de un ancestro común.

<sup>4</sup> Flores sin perianto, es decir desnudas, reducidas sólo a los órganos sexuales, provistos o no de una bráctea protectora.

<sup>5</sup> Parcialmente parásitas, ya que poseen hojas verdes capaces de asimilación clorofílica.

<sup>6</sup> Se alimenta por completo del hospedante.

<sup>7</sup> Elemento chupador de jugos vitales.



Figura 1. *M. gayanum*, en Orfila, fig. 21, 1978.



Figura 2. *M. oblongifolium*, en Orfila, fig. 19, 1978.

Plantas monoicas, dioicas o polígamas; ramas jóvenes verdosas, amarillentas o ferrugíneas, con o sin puntuaciones, las del año anterior pardo-grisáceas o pardo-rojizas, a veces seríceo-velutinas<sup>8</sup>. Hojas alternas, caedizas, verdosas o amarillentas, sin estípulas, lineares, obovadas o lanceoladas, sésiles o pecioladas, glabras o pilosas. Inflorescencias racimosas, alargadas y foliosas o cortas y escamosas, formadas por espiquillas multifloras o reducidas a una o dos flores axilares. Flores dioicas, las masculinas con dos o tres estambres, sin ovario, las femeninas con tres carpelos, ovario súpero triangular, estilo casi nulo y tres estigmas papilosos. Tres estaminodios<sup>9</sup> muy cortos entre los surcos del ovario, que luego se alargan mucho (setas). Los frutos llamados aquenios están provistos de tres setas de largo variable según la especie, de hasta 10 cm, que son transportadas por el viento y se adhieren a las ramas de los árboles. Al germinar la semilla, la raíz principal se transforma en haustorio que penetra en la planta nutricia, primero entre la corteza y el leño; luego produce evaginaciones que alcanzan el cilindro central para introducirse

Especies de *Misodendrum* de Chile y Argentina y los *Nothofagus* que parasitan.

	<i>N. alpina</i>	<i>N. antarctica</i>	<i>N. betuloides</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. macrocarpa</i>	<i>N. nitida</i>	<i>N. obliqua</i>	<i>N. pumilio</i>
<i>M. angulatum</i>		x	x	x				
<i>M. brachystachyum</i>		x	x	x		x		x
<i>M. gayanum</i>		x	x	x		x		
<i>M. linearifolium</i>	x	x		x	x		x	x
<i>M. macrolepis</i>			x					
<i>M. oblongifolium</i>		x		x				x
<i>M. punctulatum</i>		x	x	x			x	x
<i>M. quadriflorum</i>								x

<sup>8</sup> Finamente aterciopeladas.

<sup>9</sup> Estambres estériles.

en la madera. En la parte en que se fija al huésped puede formar o no una protuberancia (Orfila 1971).

De acuerdo a Rossow 1982, los *Misodendrum* pueden dividirse en dos subgéneros:

- *Misodendrum*: tallos verrugosos, verdosos, amarillentos o ferrugíneos. Inflorescencias con brácteas escamosas; 2 estambres.
- *Angelopogon* (van Tiegh.) Rossow: tallos no verrugosos, grisáceos, violáceos o castaños. Inflorescencias con brácteas foliáceas; 3 estambres.

### SUBGÉNERO MISODENDRUM

*Misodendrum punctulatum* Banks ex DC. (descrito en 1830); “injerto”, “payún”, “huenchulahuén”.

Vive sobre ñire (*Nothofagus antarctica*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lenga (*Nothofagus pumilio*) y roble (*Nothofagus obliqua*). También ha sido coleccionado sobre ciprés (*Austrocedrus chilensis*). Habita en Argentina y Chile; en nuestro país, entre las regiones del Maule (Linares) y Magallanes.

*Misodendrum gayanum* van Tiegh. (descrito en 1896). Vive sobre ñire (*Nothofagus antarctica*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y



Figura 3.

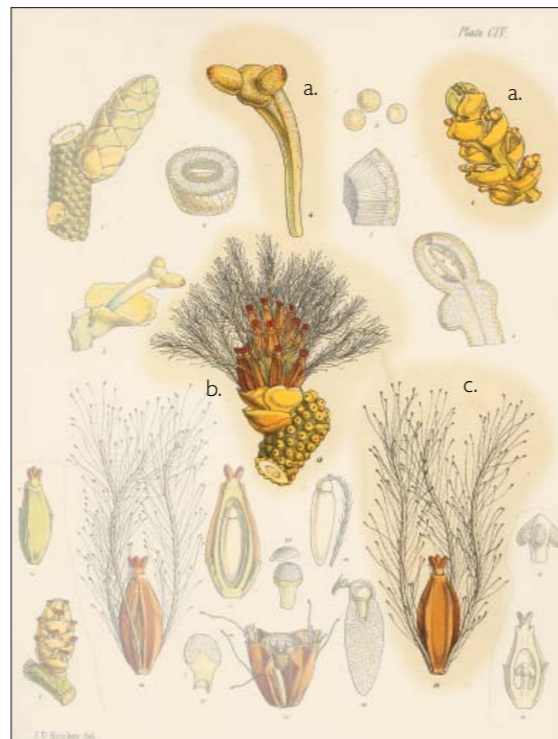


Figura 4.



Figura 5.

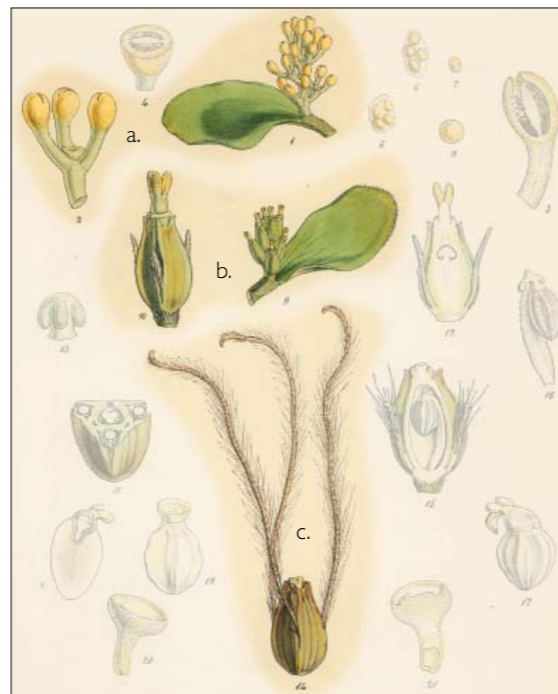


Figura 6.

**Fig. 3.** *Misodendrum punctulatum* en Hooker; Flora Antarctica, lám. 102, 1847. **Fig. 4.** *Misodendrum punctulatum* en Hooker; Flora Antarctica, lám. 104, 1847, (a) flores masculinas, (b) flores femeninas, (c) fruto. **Fig. 5.** *Misodendrum brachystachyum* en Hooker; Flora Antarctica, lám. 103, 1847. **Fig. 6.** *Misodendrum brachystachyum* en Hooker; Flora Antarctica, lám. 105, 1847, (a) flores masculinas, (b) flores femeninas, (c) fruto.

coigüe de Chiloé (*Nothofagus nitida*). Habita en Argentina y Chile; en nuestro país está presente entre las regiones de La Araucanía (Cautín) y Aisén, (Fig. 1).

***Misodendrum angulatum* Phil.** (descrito en 1865). Vive sobre ñire (*Nothofagus antarctica*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) y coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Habita en Argentina y Chile; en nuestro país, entre las regiones de Los Lagos (Valdivia) y Magallanes.

***Misodendrum macrolepis* Phil.** (descrito en 1865). Habita sobre coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) y es endémico de nuestro país: vive sólo en el bosque de la Cordillera Pelada, Región de Los Lagos.

#### SUBGÉNERO ANGELOPOGON

***Misodendrum linearifolium* DC.** (descrito en 1830); “cabello de ángel”, “quenuhua”.

Vive sobre coigüe (*Nothofagus dombeyi*), raulí (*Nothofagus alpina*), roble (*Nothofagus obliqua*), lenga (*Nothofagus pumilio*), ñire (*Nothofagus antarctica*) y roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*). También se ha encontrado en un género diferente: *Azara microphylla* o “chinchín”. Habita en Argentina y Chile; en nuestro país está presente entre las regiones de Valparaíso y Magallanes.

***Misodendrum brachystachyum* DC.** (descrito en 1830). Vive sobre ñire (*Nothofagus antarctica*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lenga (*Nothofagus pumilio*) y coigüe de Chiloé (*Nothofagus nitida*). También se ha encontrado en otro género, en la especie *Caldcluvia paniculada* o “tiaca”. Habita en Argentina y Chile; en nuestro país, entre las regiones del Biobío (Arauco) y Magallanes.

***Misodendrum oblongifolium* DC.** (descrito en 1830). Vive sobre coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y lenga (*Nothofagus pumilio*); raro en ñire (*Nothofagus antarctica*). También se ha encontrado sobre otro género, en la especie *Aristotelia chilensis* o “maqui”.

Habita en Argentina y Chile; en nuestro país está presente entre las regiones del Biobío (Ñuble) y Aisén, (Fig. 2).

***Misodendrum quadriflorum* DC.** (descrito en 1830). Vive sobre lenga (*Nothofagus pumilio*) en Argentina y Chile. En nuestro país está presente en la Región de la Araucanía (Malleco), y en Aisén y Magallanes.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agardh JG. 1858. Theoria systematis plantarum, pp. 236-237.
- Bentham G & JD Hooker. 1880. Genera Plantarum 3: 229-230.
- Crisci JV, I Gamundí & M Cabello. 1988. A cladistic analysis of the genus *Cyttaria* (Fungi-Ascomycotina). *Cladistics* 4: 279-290.
- De Mösbach EW. 1992. Botánica Indígena de Chile. Museo Chileno de Arte Precolombino, Fund. Andes, Edit. Andrés Bello, 140 pp.
- Elórtegui S & A Moreira (eds.). 2002. Parque Nacional La Campana: Origen de una Reserva de la Biosfera en Chile Central. Taller La Era, 176 pp.
- Hieronymus G. 1889. Myzodendraceae en: Engler A & K Prantl, Nat. Pflanzenfam. III, 1: 198-202.
- Hooker JD. 1847. Flora Antarctica, 574 pp., 198 lám.
- Humphries CJ, JM Cox & ES Nielsen. 1986. *Nothofagus* and its parasites: A cladistic approach to coevolution in: Stone AR & DL Hawksworth (eds.). *Coevolution and systematics*. Clarendon Press, Oxford. Pp. 55-76.
- Looser G. 1927. *Nothofagus*, *Cyttaria* y *Myzodendron* en el Cerro del Roble (Prov. de Santiago). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 31: 288-290.
- Orfila E. 1971. El género *Misodendrum* Banks et Solander ex De Candolle, hemiparásito de importantes especies forestales andino patagónicas. *Rev. Forestal Arg.* 15(3): 73-75.
- Orfila E. 1978. Misodendraceae de la Argentina y Chile. *Fund. E. y E. Malamud*, Buenos Aires, 73 pp.
- Rosow RA. 1982. Sinopsis de las Misodendraceae. *Parodiana* 1(2): 245-270.
- Rosow RA. 1984. Misodendraceae en: Correa MN (ed.). *Fl. Patagónica*. Colecc. Cient. INTA 8(4a): 43-52.
- Tercero-Bucardo N & T Kitzberger. 2004. Características del establecimiento e historia de vida de *Misodendrum punctulatum* (Misodendraceae), un muérdago de Sudamérica austral. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 77(3): 509-521.
- Zavaro CA, JV Crisci & JJ Morrone. 1997. Sinopsis and cladistics of the genus *Misodendrum* (Misodendraceae, Santalales). *Fontqueria* 48: 225-239.



## Especies chilenas de *Cyttaria* Berkeley (Cyttariaceae)

Elizabeth Barrera M., botánica,  
Museo Nacional de Historia Natural.  
ebarrera@mnhn.cl

El género *Cyttaria* Berkeley es el único género de la familia Cyttariaceae Lév., orden Cyttariales, clase Discosporales. Estos hongos se caracterizan por el estroma globoso o subgloboso aturbinado o moriforme, carnoso y gelatinoso. Ascocarpos en apotecios globosos o cupulados inmersos en el estroma, cerrados en un comienzo y abiertos al madurar, exponiendo el himenio con ascos y paráfisis filamentosas o septadas. Ascosporas unitunicadas, cilíndricas. Ascosporas hialinas, subglobosas a ovoides.

*Cyttaria* comprende 11 especies, 7 sudamericanas: 6

de ellas en Chile y Argentina (Cuadro 1), una sólo en Argentina (*C. exigua*) y 4 australasianas: una en Australia (*C. septentrionalis*), una en Tasmania, Nueva Zelanda y Australia (*C. gunnii*) y 2 en Nueva Zelanda (*C. nigra* y *C. pallida*).

Las especies de *Cyttaria* son parásitos exclusivos de *Nothofagus*. Una especie de *Cyttaria* puede parasitar a varias especies de *Nothofagus*, y una especie de *Nothofagus* puede ser parasitada por varias especies de *Cyttaria*. En Chile 6 especies de *Cyttaria* parasitan a 9 especies de *Nothofagus* (Cuadro 2).

Cuadro 1. Especies de *Cyttaria* y su distribución en Chile.

	DESDE		HASTA	
	Región	Localidad	Región	Localidad
<i>Cyttaria berteroi</i> Berk.	V	Aconcagua	X	Valdivia
<i>Cyttaria espinosae</i> Lloyd	V	Aconcagua	X	Llanquihue
<i>Cyttaria hariotii</i> Fischer	VII	Colchagua	XII	Tierra del Fuego
<i>Cyttaria johowii</i> Espinosa	VII	Talca	XII	Tierra del Fuego
<i>Cyttaria darwinii</i> Berk.	VIII	Chillán	XII	Tierra del Fuego
<i>Cyttaria hookeri</i> Berk.	VIII	Chillán	XII	Isla Hermite

Cuadro 2. Especies de *Nothofagus* parasitadas por *Cyttaria* en Chile.

	<i>N. macrocarpa</i>	<i>N. obliqua</i>	<i>N. alpina</i>	<i>N. glauca</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. betuloides</i>	<i>N. nitida</i>	<i>N. pumilio</i>	<i>N. antarctica</i>
<i>Cyttaria berteroi</i> Berk.	X	X		X					
<i>Cyttaria espinosae</i> Lloyd	X	X	X	X					
<i>Cyttaria johowii</i> Espinosa					X	X			
<i>Cyttaria hariotii</i> Fischer					X	X	X	X	X
<i>Cyttaria darwinii</i> Berk.						X		X	X
<i>Cyttaria hookeri</i> Berk.								X	X

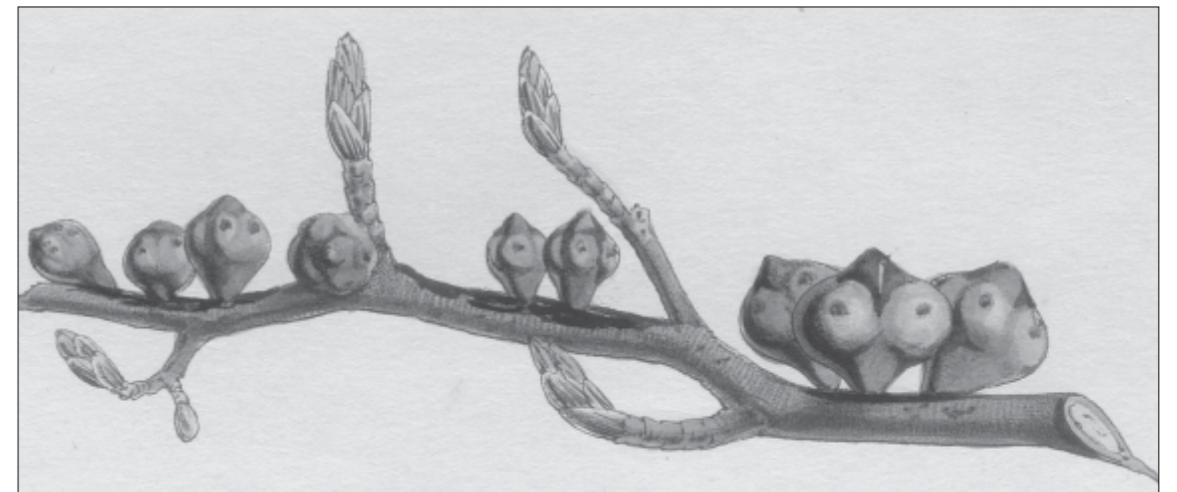
Crisci *et al.* (1988) en su estudio cladístico del género *Cyttaria* manifiestan que las especies sudamericanas de este género forman un grupo parafilético. *Cyttaria berteroi* y *Cyttaria espinosae*, que integran un grupo monofilético con las especies australasianas, son las que presentan la distribución más boreal en Sudamérica. *Cyttaria darwinii* junto a *C. exigua*, especie que crece sólo en Argentina, forman un grupo monofilético bien delimitado. *Cyttaria hariotii*, de amplia distribución en los bosques de *Nothofagus* de Sudamérica y que parasita a la mayor cantidad de especies de *Nothofagus* (5), es el grupo hermano del resto del género, excluyendo a *C. hookeri* y *C. johowii*, que son las especies más plesiomórficas.

Después de la apertura de los apotecios presenta un fuerte olor a durazno; es muy consumido, de preferencia crudo. También se come seco.

### 2. *CYTTARIA DARWINII* BERK.

Nombres comunes: awacik, mmáama, piñat, dihueñe de ñire, dihueñe de ñire, pan del indio.

El estroma, de 3,5-5 cm de longitud por 4,5-5 cm de diámetro transversal, es en un comienzo blanco; después se torna algo ocre o amarillento, globoso a globoso-achatado;



*Cyttaria hookeri* Berk., de lámina CLXII, Hooker 1847.

### 1. *CYTTARIA BERTEROI* BERK.

Nombres comunes: dihueñe, dihueño, lihueñe, pinatra, puna, pina, piña, curaducha.

Estroma grande de 4-9 cm de altura y la parte globosa de 4-11 cm de diámetro, generalmente turbinado, algo comprimido, duro, blanco que oscurece con el paso del tiempo, superficie suave, lisa, algo pegajosa. Crece solitario o en grupos de pocos individuos. Sin picnidios en la base del estroma; apotecios grandes (7-11 mm), anaranjados. La membrana que cubre los apotecios, al romperse, se refleja sobre los bordes de los apotecios, los que se encuentran algo distantes entre ellos. Esporas globosas de 11-18 µm de diámetro.

su forma puede variar por la presión con otros individuos, la corteza es gruesa y elástica. El estipe es cónico con picnidios negruzcos en la superficie, que continúan hacia la base del estroma. Apotecios caliciformes, separados unos de otros, se ubican principalmente en los dos tercios superiores del estroma. Cuando los apotecios se abren, la membrana que los cubre se rompe y permanece adornando los bordes, dando la apariencia de laciniado al borde del apotecio. Esporas globosas de 12-14 µm de diámetro.

### 3. *CYTTARIA ESPINOSAE* LLOYD

Nombres comunes: quireñe, quideñe, dihueñe, lihueñe, pinatra.



Foto 1. *Cyttaria hariatii* Fischer: Fuerte Bulnes, Magallanes, Punta Arenas, XII Región. Foto 2. *Cyttaria berteroi* Berk (foto de Carolina Villagrán).

Estromas blancos, de superficie pegajosa, de 1,5-4,5 cm de alto y 1,5-4,2 cm de diámetro, globosos o algo alargados debido a que crecen en grupos apretados. Apotecios muy contiguos, de boca poligonal, desarrollados en los dos tercios superiores del estroma. Cuando la membrana que cubre los apotecios se rompe y se retrae hacia los bordes, se observan los apotecios de un intenso color anaranjado. Esporas globosas de 12-14  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Es muy apetecido como comestible, de preferencia los nuevos. Antes de la apertura de los apotecios es inodoro e insípido; después huele ligeramente a durazno y posee un sabor algo dulce.

#### 4. CYTTARIA HARIOTII FISCHER

Nombres comunes: llaullau, dihueñe de coigüe, dihueñe de ñire, llao-llao.

Estroma globoso o globoso-deprimido, anaranjado, con base cónica sin apotecios, de 3-5 cm de alto y 2-4,5 cm de diámetro, con la membrana externa de color blanco sobre los apotecios. Presenta numerosos picnidios negros superficiales, ubicados principalmente en la parte basal del estroma. Apotecios caliciformes, de 4 mm de ancho, abundantes, con las aberturas algo levantadas antes de abrirse, llenos de una sustancia viscosa. Cuando se abren muestran color anaranjado y la membrana se contrae hacia los bordes; boca circular o irregular. Esporas de 12-13  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Es una de las especies más comunes en los bosques andino-patagónicos. Tiene olor dulzón a damasco o du-

razno. Los mapuches usaban este hongo para fabricar una bebida alcohólica fermentada, tipo "chicha". Las fructificaciones eran conservadas durante varios meses en alcohol, lo que les hacía emanar su olor tan característico.

#### 5. CYTTARIA HOOKERI BERK.

Nombre común: dihueñe mohoso del ñire.

Estroma obovado o turbinado, de 1-2 cm de largo y 13 mm de diámetro, de color ocráceo-ferruginoso, pegajoso al tacto, las fructificaciones jóvenes son claviformes. Generalmente en el extremo se presenta un pequeño cono oscuro con numerosos picnidios. Apotecios caliciformes, escasos, 1-8 en la parte superior del estroma, boca circular de 1,5-2,5 mm de diámetro, borde hundido lleno de sustancia viscosa. Esporas elipsoides, incoloras, de 16-19  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Su consistencia gomosa y gusto un tanto amargo lo hacen poco apetecible.

#### 6. CYTTARIA JOHOWII ESPINOSA

Nombre común: dihueñe mohoso del coigüe.

Estromas moriformes, solitario o gregario, de 3 cm de largo y 1,5-2 cm de diámetro, globosos, obovados o

piriformes, de color amarillo anaranjado a ocráceo-ferruginoso, de consistencia gomosa, con la corteza membranosa o algo coriácea. Picnidios globosos, duros, de color oscuro, repartidos en la superficie del estroma. Apotecios caliciformes, 10-38, de 4-5 mm de diámetro, con boca circular, a menudo con el borde prominente. Esporas globosas de 16-18  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Según algunos autores es comestible, pero poco apetitoso.

#### GLOSARIO

**apotecios** = ascocarpo (donde se encuentran los ascos) con forma de disco o copa.

**asco** = estructura unicelular con forma de saco que contiene las ascosporas.

**ascocarpo** = aparato esporífero con ascos y ascosporas.

**ascosporas** = esporas formadas en los ascos.

**conidio** = espora asexual nucleada, inmóvil.

**dihueñe** (en mapudungun) = "compañero", "fruta de los robles" (Espinosa 1926).

**estipe** = pie del hongo.

**estroma** = masa de tejido fúngico donde se desarrollan las fructificaciones.

**filogenia** = historia evolutiva de un taxón.

**hifa** = filamento tubular.

**himenio** = capa continua de hifas especializadas en la producción de esporas (ascógena o productora de ascos).

**monofilético** = grupo que incluye a todos los taxones que descienden de un ancestro común.

**moriforme** = forma de mora.

**obovado** = forma de huevo, pero con la parte ancha en el ápice.

**parafilético** = grupo que se basa en posesión común de caracteres plesiomórficos; no contiene todos los descendientes de un ancestro común.

**paráfisis** = estructuras estériles filiformes o claviformes situadas entre los ascos.

**picnidio** = receptáculo asexual, generalmente esférico, en cuyo interior se desarrollan conidióforos (hifas morfológica y fisiológicamente diferentes a las hifas somáticas) que a su vez producen conidios.

**plesiomorfía** = estado primitivo o ancestral de un carácter.

**turbinado** = engrosado desde la base hacia arriba.

**unitunicado** = una túnica.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crisi JV, I Gamundí & M Cabello. 1988. A cladistic analysis of the genus *Cyttaria* (Fungi-Ascomycotina). *Cladistics* 4: 279-290.
- Crisi JV, L Katinas & P Posadas. 2000. Introducción a la teoría práctica de la biogeografía histórica. *Soc. Arg. Bot.* 169 pp.
- Espinosa M. 1926. Los hongos del género *Cyttaria*. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 30: 206-256.
- Espinosa M. 1930. *Cyttaria hariatii* en Colchagua y clave de las especies chilenas del género. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 34: 14-142.
- Espinosa M. 1940. Apuntes botánicos. Un hongo nuevo del género *Cyttaria* Berk. *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat.* 18: 23-26.
- Gamundí I. 1971. Las *Cyttariales* sudamericanas (Fungi-Ascomycetes). *Darwiniana* 16(3-4): 461-510.
- Hooker JD. 1847. *Flora Antarctica*, 574 pp., 198 lám.

## Taller

## INICIATIVA DE CONSERVACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS AMENAZADAS Y ENDÉMICAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE

Resumen del taller "Presentación de resultados".  
Valdivia, 9 y 10 de noviembre de 2004

**Cristian Echeverría**

Coordinador en Chile proyecto Iniciativa Darwin,  
Universidad Austral de Chile.  
cechever@uach.cl

Los bosques templados de Chile han sido mundialmente reconocidos como un ecosistema único debido a su alto nivel de endemismo y diversidad. Desafortunadamente, la continua fragmentación, deforestación y degradación de estos bosques ha conducido a que muchas especies vegetales se encuentren amenazadas de extinción. Este proceso se caracteriza porque las zonas de mayor diversidad y endemismos están asociadas a áreas de intenso uso histórico y mayor transformación del paisaje. Debido a esto, diversas organizaciones nacionales e internacionales han identificado los bosques chilenos como un área prioritaria para la conservación biológica, que requiere urgentemente acciones de protección. Como una manera de contribuir, investigadores de la Universidad Austral de Chile (UACH) y del Real Jardín Botánico de Edimburgo (RBGE) se unieron para desarrollar el proyecto "Programa de conservación integrado para las especies forestales endémicas y amenazadas de Chile", financiado por la Iniciativa Darwin del Departamento de Asuntos Ambientales (DEFRA) del Reino Unido. El proyecto tuvo una duración de tres años, y termina en abril de 2005.

La meta del proyecto es proveer las bases para una protección a largo plazo, a través de un programa integrado de conservación *in situ* y *ex situ*, con el compromiso de un amplio rango de actores locales. El desarrollo de este objetivo se basó en una estrecha colaboración entre las mencionadas instituciones, lo cual fue crucial para ejecutar un trabajo bien coordinado y que permitiera aportar con acciones urgentes en materia de conservación. Martín Gardner, coordinador internacional del proyecto y director del Programa Internacional de Conservación de Coníferas en el RBGE, ha estado fuertemente vinculado con las actividades de conservación de bosques nativos que el Dr. Antonio Lara y otros investigadores del Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral vienen realizando desde hace varios años.

En el mes de noviembre de 2004 se desarrolló un taller en las dependencias de la UACH en Valdivia, en el cual se dieron a conocer los objetivos del proyecto y sus principales resultados. También se expusieron los mayores obstáculos y desafíos que se enfrentan respecto de la conservación de las especies amenazadas de la flora chilena.

El proyecto se enmarca dentro de los tres principales objetivos establecidos por el Convenio sobre Diversidad Biológica en Río de Janeiro, 1992 (CDB). Éstos son: i) la conservación de la diversidad biológica, ii) la utilización sostenible de sus componentes y iii) la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos. A pesar de este compromiso, la biodiversidad mundial continúa disminuyendo a tasas sin precedentes, debido a las actividades humanas. Si bien Chile también está adscrito a este acuerdo, es necesario contar con información actualizada y precisa sobre el estado real de conservación de las especies de plantas chilenas, así como iniciar acciones de conservación para asegurar la mantención de los componentes de la diversidad biológica. En este sentido, el proyecto Iniciativa Darwin está realizando un aporte concreto a través de la implementación en Chile de los objetivos de la CDB.

Una de las metas del proyecto fue el desarrollo de capacidades de jóvenes investigadores chilenos, a través del entrenamiento en metodologías de conservación, tanto en Chile como en el Reino Unido. Este entrenamiento consistió en entregarles herramientas y conocimientos para establecer estrategias eficaces en la protección de especies amenazadas. Se entrenó a jóvenes investigadores en métodos de propagación e identificación de especies amenazadas, manejo de colecciones para la conservación *ex situ* y aplicación de técnicas de manejo de hábitat. Los resultados y experiencia ganada en los análisis de la genética de conservación por parte de los jóvenes becados en el Reino Unido ha sido un aporte sustancial e innovador en materia de conservación en Chile. Los análisis genéticos podrán ayudar a la toma de decisión en el establecimiento de prioridades de conservación para las especies amenazadas pitao (*Pitavia punctata*), luma del norte (*Legrandia concinna*) y lleuque (*Prumnopytis andina*).

Otro objetivo fundamental del proyecto fue el desarrollo de acuerdos de colaboración ambiental con propietarios privados que poseen especies amenazadas en sus predios. A través de su compromiso se han podido iniciar con éxito acciones de conservación *in situ* y recuperación de los hábitat donde crecen algunas de las especies amenazadas del país. Las actividades de conservación *in situ* comprendieron básicamente la mantención efectiva de las poblaciones de especies amenazadas en sus sitios de origen, lo cual incluyó la aplicación de medidas de manejo. El interés demostrado por pequeños propietarios en realizar actividades en conjunto en el rescate de poblaciones de especies arbóreas altamente amenazadas, abre enormes oportunidades de cooperación y de una real conservación a largo plazo de estas especies. De la misma forma, la necesidad de las empresas por conservar la biodiversidad ha permitido que se puedan establecer lazos de colaboración en beneficio de las especies amenazadas.

El proyecto cuenta con 10 sitios bajo convenio de conservación, los cuales están en terrenos pertenecientes a pequeños y medianos propietarios (5), así como también, en terrenos de empresas forestales (5), (Figura 1). Los árboles bajo este esquema son pitao (*Pitavia punctata*), queule (*Gomortega keule*), belloto del sur (*Beilschmiedia berteriana*), lleuque (*Prumnopytis andina*) y arrayán de Colchagua (*Myrceugenia colchaguensis*). Adicionalmente, el equipo de investigadores de la UACH ha venido desarrollando actividades de restauración ecológica desde 1998, con araucaria (*Araucaria araucana*), alerce (*Fitzroya cupressoides*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), como parte de las tareas emprendidas por otros proyectos.

Otra importante meta del proyecto ha sido la ejecución de actividades que apuntan a la conservación *ex situ* de especies chilenas amenazadas. Para ello, en el Arboretum<sup>1</sup> del Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral de Chile se establecieron nuevas colecciones de especies amenazadas y otras como mirtáceas y escallonias. A la fecha se cuenta con 436 accesiones de plantas chilenas vivas. Estas colecciones están siendo registradas con el software BG-BASE<sup>®</sup> versión 6.0, sistema de administración de datos utilizado en diversos jardines botánicos del mundo.

Durante la ejecución del proyecto se implementó además un vivero especializado en propagación de especies chilenas amenazadas. Esta unidad permitirá contar con material para establecer futuras colecciones de conservación *ex situ*, y apoyar las actividades de conservación *in situ* en terrenos de propietarios bajo acuerdo de colaboración ambiental. Muestras de herbario de cada espécimen están siendo depositadas en los herbarios nacionales de la Universidad de Concepción y Museo Nacional de Historia Natural, y en el Herbario del Real Jardín Botánico de Edimburgo.

Como una forma de promover la colaboración en actividades de investigación, educación y conservación de la flora chilena, el Arboretum está implementando acuerdos de cooperación y asistencia técnica con el Jardín Botánico Nacional de Viña del Mar y el Jardín Botánico Chagal de Santiago. Todas estas actividades aportan con la implementación del objetivo 8 de la "Estrategia Global para la Conservación de Plantas", el cual plantea que "el 60% de las especies de plantas amenazadas debe estar accesible en colecciones *ex situ*, preferentemente en el país de origen, y un 10% de ellas debe incluirse en programas de recuperación y restauración".

<sup>1</sup> Área de conservación *ex situ* de plantas chilenas (436) y exóticas (401) para educación, investigación y conservación. Ver [www.uach.cl/facultad/forestal/laboratorios/arboretum.htm](http://www.uach.cl/facultad/forestal/laboratorios/arboretum.htm)



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la red de propietarios comprometidos en la conservación *in situ* de algunas especies arbóreas amenazadas; estudio realizado por el proyecto Iniciativa Darwin RBGE-UACH.

A lo largo del proyecto Iniciativa Darwin se han realizado extensas campañas de terreno entre la IV y X regiones del país, con el fin de reunir información acerca del actual estado de conservación y distribución de las plantas amenazadas de esa zona. Estos trabajos de terreno permitieron descubrir poblaciones de especies de flora amenazadas nunca antes descritas, así como la desaparición de poblaciones de las que se contaban registros de presencia unos años atrás. Las campañas fueron realizadas bajo un esquema de entrenamiento para los jóvenes investigadores chilenos, y contaron con la colaboración de representantes de empresas, CONAMA, CONAF, universidades y particulares. La información recopilada entre abril de 2002 y diciembre de 2004 será publicada en un manual de distribución, identificación, propagación, estado de conservación y acciones de conservación de alrededor de 45 especies de plantas amenazadas. Este documento incluirá material gráfico para indicar caracteres clave de identificación y mapas de distribución de cada una de las especies. Una versión en inglés se encontrará prontamente en internet.

A partir de la información recopilada en terreno por el equipo del proyecto y aquella proveniente de las diversas fuentes consultadas, investigadores del proyecto están clasificando las 45 plantas amenazadas, según los criterios y categorías de la Lista Roja de la UICN 2001. Este sistema provee un marco de trabajo explícito y objetivo para evaluar el riesgo al que están sometidas las diferentes especies de flora y fauna del mundo. La asignación de una categoría requiere la evaluación de una especie bajo un conjunto de criterios diseñados para analizar reducciones pasadas, presentes y futuras en términos del tamaño poblacional, rangos geográficos restringidos y tamaños de poblaciones pequeñas. El diseño de los criterios consideró los efectos de casi todos los procesos que amenazan los organismos.

Actualmente, muchas especies nativas chilenas se comercializan en el extranjero, generando importantes ingresos a quienes las propagan. Sin embargo, hasta ahora la venta de estos productos no ha derivado en un retorno económico para nuestro país. Dentro del marco de la CDB sobre la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, miembros del proyecto Iniciativa Darwin han impulsado un convenio con la empresa Liss Nurseries del Reino Unido. Está orientado a la introducción de nuevas especies, variedades y cultivares de la flora chilena en ese país, con el fin de ser propagadas y comercializadas, y con la condición de que un porcentaje de las ventas retornen a Chile, como contribución a la conservación de la flora nativa. Parte de los recursos que se generan de las ventas en el Reino Unido serán destinados a desarrollar actividades de conservación y manejo de hábitat en los terrenos donde se colecte el material de propagación. También se financiará el entrenamiento de estudiantes en

metodologías de conservación de plantas amenazadas de Chile. Esta iniciativa cuenta con el apoyo de la Curaduría Nacional de los Recursos Genéticos de INIA y CONAMA.

Una estrategia que integre acciones de conservación *in situ* y *ex situ*, además del entrenamiento en aspectos prácticos sobre la conservación de la biodiversidad, y el establecimiento de acuerdos con propietarios privados, son aspectos clave que el proyecto ha identificado e iniciado para asegurar la persistencia y aumento de las especies amenazadas en Chile. Gran parte del éxito del proyecto se debe a la estrecha colaboración con organizaciones gubernamentales como CONAMA, CONAF, INIA, además de empresas forestales y pequeños y medianos propietarios privados.

Diversos actores vinculados al proyecto reconocen el extraordinario valor de la flora arbórea amenazada de Chile, el cual radica en su marcada rareza y endemismo y en su alto grado de amenaza. El uso responsable de los recursos forestales, como una manera de facilitar la mantención de los procesos ecológicos vitales, permitirá evitar la extinción local de estos árboles únicos en el mundo. Asimismo, la conservación a largo plazo de estas especies debe contemplar el resguardo de material genético y el desarrollo de técnicas para la propagación y el establecimiento de plantaciones. El proyecto aporta con recomendaciones de manejo para la conservación de especies amenazadas en áreas piloto. La variabilidad genética en estas poblaciones relictas con bajo intercambio parece ser clave para priorizar la conservación.

El continuo deterioro y pérdida de los componentes de la biodiversidad en Chile llama a la necesidad de fortalecer los esfuerzos para el establecimiento de un programa de monitoreo que mida cambios sobre los patrones espaciales de distribución de las especies, sus hábitat y estado de conservación. La disponibilidad de indicadores para monitorear cambios en la biodiversidad en el tiempo y el espacio es otro aspecto relevante en un programa de monitoreo. La información que aporta el proyecto podría ser usada como línea base sobre el estado actual de conservación de las especies de flora amenazada.

Uno de los aspectos más relevantes que se concluye en torno al desafío de la conservación de las especies amenazadas y de la biodiversidad, es que esta misión es una necesidad de todos, y no sólo de científicos o especialistas. Debe ser abordada considerando aspectos productivos y de desarrollo económico, sin que esto implique una pérdida de la biodiversidad. La valorización de las especies chilenas para fines ornamentales y productivos es otro aspecto que como sociedad debemos considerar para diversificar los productos. Es importante que se promueva en Chile el ejemplo de pequeños propietarios comprometidos con la conservación de especies amenazadas, de tal manera de avanzar bajo un enfoque integrador en la conservación de la diversidad biológica de nuestro país.

#### EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

**Real Jardín Botánico de Edimburgo:** Martin Gardner (coordinador), Philip Thomas y Peter Brownless (investigadores colaboradores).

**Universidad Austral de Chile:** Cristian Echeverría (coordinador), Antonio Lara, Carlos Le Quesne, Bernardo Escobar y Paulina Hechenleitner (investigadores colaboradores); Carlos Zamorano, Fernando Bustos y Miguel Cárcamo (asistentes de investigación); Gonzalo Medel, Darian Stark y Camila Martínez (becarios).

## Conferencia

### LA REGIÓN DEL MEDITERRÁNEO: UN *HOTSPOT* PARA LA INVESTIGACIÓN BIOGEOGRÁFICA DE LAS PLANTAS

La evolución de las plantas en las zonas de clima mediterráneo.  
IX Conferencia de la Organización Internacional de la Biosistemática de las  
Plantas (IOPB por sus siglas en inglés), Valencia, España, mayo 2004.

Hans Peter Comes

Institut für Spezielle Botanik,  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Alemania.  
peter.comes@sbg.ac.at

La región del Mediterráneo es reconocida como uno de los 18 lugares críticos o *hotspots* del mundo donde existen niveles excepcionales de biodiversidad (Blondel & Aronson 1999). Representando sólo un 1,6% de la tierra firme del planeta, esta región alberga más de 25.000 especies vegetales vasculares conocidas, o cerca del 10% del total mundial, y permanentemente se están describiendo nuevas (Lihová *et al.* 2004). De hecho, más de la mitad de las especies vegetales son endémicas y más del 80% de todas las plantas endémicas de Europa son mediterráneas.

Por lo general se piensa que estos niveles tan altos de diversidad vegetal y endemismo se deben a cuatro factores: la biogeografía, la historia climática paleogeológica, la heterogeneidad ecogeográfica y la influencia humana (Blondel & Aronson 1999). Por consiguiente, para comprender la diferenciación y evolución de las plantas en el Mediterráneo —aunque todavía vaga y sin haber sido tratada en extenso— se requiere considerar patrones y procesos en una variedad de escalas espacio-temporales y niveles taxonómicos, fomentando la discusión entre las diversas subdisciplinas involucradas en la investigación de la evolución de las plantas.

La IX Conferencia de la IOPB (<http://www.jardibotanic.org/iopb.html>) proporcionó visiones amplias y actualizadas sobre el tema, entre las que se incluyen discusiones acerca de los orígenes filogenéticos, la evolución de las especies, y los tiempos de diversificación de los linajes de las plantas mediterráneas; su respuesta a las vicisitudes climáticas del Pleistoceno según evidencias de reconstrucciones filogeográficas moleculares; discusiones detalladas sobre los roles de la ecología (Debussche *et al.* 2004), la hibridación y reticulación (Gutiérrez *et al.* 2002), y el aislamiento reproductivo (Pérez *et al.* 2003) en el origen de las especies vegetales mediterráneas. También se trató la diversidad genética, la dispersión de los genes y la dinámica de la metapoblación de especies extrañas y endémicas (Hardy *et al.* 2004), y su pertinencia directa con la biología de la conservación y el manejo de los recursos. Aunque el foco del simposio fue mayormente la región del Mediterráneo (Macaronesia inclusive, y con varios estudios restringidos a los sectores occidental y central de la cuenca), todos los temas que se abordaron contienen lecciones prometedoras para otras partes del mundo, en especial aquéllas donde se da el tipo de clima mediterráneo (con un régimen de lluvias predominantemente invernales), como California, la provincia del Cabo en Sudáfrica, Chile central y dos regiones separadas en Australia, en la parte sur y suroccidental. Me centraré en algunos temas biogeográficos emergentes de este simposio, con un énfasis en Macaronesia y la cuenca del Mediterráneo.

#### Macaronesia

Las islas macaronésicas comprenden las islas Azores, Madeira, Canarias, Salvajes y Cabo Verde. El interés central de muchos estudios filogenéticos moleculares recientes ha sido inferir el origen de la flora de estos

archipiélagos del Atlántico (ver revisión en Vargas, en prensa). Desde una perspectiva biogeográfica moderna, difícilmente hay otra subregión mejor explorada dentro del reino del Mediterráneo. Por lo menos en parte, esto refleja la larga historia de estudios taxonómicos de los archipiélagos y el acceso relativamente fácil a extensas fuentes de material vegetal, factores que forman la base de los estudios filogenéticos moleculares. Existe evidencia precisa de que: (i) la mayoría de las especies endémicas de Macaronesia es hermana de especies y clados que tienen una distribución mediterránea predominantemente occidental, rara vez oriental (*Convolvulus*; Mark A. Carine, NHM, Londres, Reino Unido); (ii) muchos de los taxa estudiados ocupan posiciones derivadas más bien que básicas en los árboles filogenéticos, y (iii) la consistencia leñosa por lo general es una novedad en estas plantas, derivadas de ancestros herbáceos (Javier Francisco-Ortega, Florida International University, Miami, EE.UU.).

A pesar del gran número de filogenias moleculares disponibles que incluyen taxa macaronésicos, los participantes en el simposio enfatizaron que se requiere mayor investigación, especialmente respecto de un muestreo taxonómico (y de gen) más amplio en el continente, y la posibilidad de incorporar enfoques nuevos y progresistas a los análisis de data moleculares (Sanderson 2002). Aun así el cuadro aparece incompleto, ya que no tengo conocimiento de estudios que hayan incluido los taxa más relevantes para la antigua "hipótesis del relicto Terciario" (Vargas en prensa). Para resolver el problema será necesario producir buenas filogenias a nivel de especies (y relojes moleculares calibrados) de aquellos representantes de la vegetación laurel-boscosa macaronésiana cuyos parientes vivos más cercanos están restringidos a las regiones (neo)tropicales, pero aparecen bien documentados en el registro de fósiles del Terciario tardío europeo, tales como miembros de la familia del laurel (*Laurus*, *Apollonias*, *Ocotea*, *Persea*) y del aceituno (*Picconia*).

#### La cuenca del Mediterráneo

En comparación con Macaronesia, se ha prestado mucho menos atención al origen de la compleja mezcla de taxa vegetales encontrada en la propia cuenca mediterránea, cuyos orígenes biogeográficos, edad respectiva e historias evolucionistas se piensa varían enormemente. Ubicada en la encrucijada entre Europa, Asia y África, esta región se ha considerado como una enorme "zona de tensión" para los linajes vegetales de diversos orígenes biogeográficos (de Eurasia del norte y central, Asia suroccidental y central, del Sahara arábigo y de África tropical), además de un componente nativo que corresponde a especies que se supone se diferencian *in situ* dentro de los límites de la cuenca (Blondel & Aronson 1999). Tradicionalmente, la designación de estos cinco "elementos" que predominan en la flora existente de la cuenca se deriva de datos fósiles o de la interpretación histórica de patrones de distribución de entidades taxonómicas y/o fitogeográficas (Quézel 1985).

Apoyados por las reconstrucciones y estimaciones filogenéticas moleculares de tiempos absolutamente divergentes, los investigadores tienen ahora la oportunidad de confirmar hipótesis sostenidas por largo tiempo acerca de orígenes biogeográficos simples o múltiples, como también los posibles cursos y períodos de migración de linajes vegetales que invadían la cuenca del Mediterráneo. Por ejemplo, Caujapé-Castells *et al.* (2001) utilizaron el análisis de "restriction-site" con cpADN para demostrar que las especies mediterráneas de *Androcymbium* (Colchicaceae) son de origen afrotropical, y que las rutas de migración hacia el norte seguidas por este género estuvieron restringidas durante un tiempo a las cadenas montañosas de África oriental, que probablemente actuaron como trampolín o como refugio. Es probable también que la especie llegara y comenzara a diversificarse en el área en el Mioceno medio (hace 12 millones de años), mucho antes de que se estableciera el tipo de clima mediterráneo estacional, cerca de 3,2-2,8 millones de años (Suc 1984). Esto sugiere que la forma de vida geófito de la especie *Androcymbium* en el Mediterráneo no evolucionó específicamente como adaptación a las condiciones mediterráneas actuales sino que representa un rasgo antiguo, plesiomórfico, que supuestamente se ha mantenido por selección natural. Los resultados obtenidos sobre *Androcymbium* son consistentes con los enfoques biogeográficos tradicionales acerca de los contactos antiguos entre África del sur y oriental, y el Mediterráneo. Esto está ilustrado por trabajos poligenéticos recientes, por ejemplo, en *Senecio* (Asteraceae; Coleman *et al.* 2003),

y en una presentación del simposio que se refirió a la variación de cpADN "haplotype" en el complejo de *Olea europaea*. Ambos apoyan un origen ancestral de las variaciones mediterráneas orientales en el África subtropical (Guillaume Besnard, Universidad de Lausanne, Suiza). En cuanto al elemento eurasiático templado, se presentaron datos pertinentes filogenéticos moleculares de las hierbas belidas mediterráneas (Elvira Hörandl, Universidad de Viena, Austria). Datos de secuencia tanto nuclear (ITS) como "chloroplast" (*matK*) sugieren que los miembros mediterráneos de la secta de los *Ranunculus*, *Ranunculastrum*, se derivan de dos linajes diferentes en las partes occidental y oriental de la cuenca, respectivamente, y por lo tanto deben haber colonizado la región de manera independiente. Dicha evolución paralela de linajes independientes crea las condiciones para fomentar la investigación sobre paralelismos de rasgos múltiples promovidos por la selección natural (Levin 2001). Si, por ejemplo, tales linajes evolucionaron después de establecerse el clima mediterráneo, cabría preguntarse si comparten el mismo conjunto de morfologías y rasgos históricos en respuesta a las condiciones ambientales similares en que ambos se dan. Claramente, de ser comunes, dichos cambios paralelos con frecuencia pueden producir estimaciones erradas de clasificaciones basadas en la morfología, pero desde una perspectiva evolucionista contribuirán a un apoyo creciente del determinismo en la evolución (Wood *et al.* en prensa).

Sin embargo, es la cepa asiática suroccidental ("irano-turani") la que muy probablemente aportó el número más grande de derivados a la cuenca del Mediterráneo e incluso a regiones más remotas. Aquí, la especie *Hordeum* sp. (cebada) es de particular interés. Basada en filogenias fechadas y derivadas de tres regiones nucleares del gen, se piensa que este género se originó hace unos 12 millones de años en el Mediterráneo oriental y en las regiones adyacentes de Mesopotamia (Frank Blattner, IPK Gatersleben, Alemania). Desde allí se extendió no sólo a Europa y Asia central, sino también a las zonas de clima mediterráneo de Sudáfrica y América, a menudo incluyendo colonizaciones de hábitat nuevos a grandes alturas o latitudes. Este sorprendente radio de expansión plantea el desafío de identificar los cambios genéticos, genómicos y ecológicos que están asociados a él, como también las principales barreras de aislamiento involucradas en la divergencia adaptativa de las especies en este sistema (ver también Ramsey *et al.* 2003).

Es prematuro hacer un planteamiento general acerca de los patrones, procesos y tiempos de llegada y establecimiento de la flora actual de la cuenca del Mediterráneo. Esto requerirá de esfuerzos coordinados en generar filogenias fechadas para una amplia diversidad de taxa vegetales de evolución independiente, tal vez semejantes a los estudios moleculares recientes sobre la biogeografía comparada de las plantas de las montañas altas europeas (Comes & Kadereit 2003). El esclarecimiento de tendencias biogeográficas de gran escala también está llevando a estudios intraespecíficos más detallados a nivel regional, por ejemplo, que incluyen poblaciones al norte y al sur del Estrecho de Gibraltar (que separa la Península Ibérica de África del Norte por 14 km), para verificar discontinuidades genéticas que podrían haber tenido repercusiones desde la crisis de salinidad del Mesiniano (6,0-5,3 millones de años), cuando la mayor parte del Mar Mediterráneo actual se secó. Sin embargo, a diferencia de lo que se ha encontrado en los sistemas animales (Castella *et al.* 2000), es probable que el estrecho no funcione como una estricta barrera frente al flujo histórico o actual de especies de plantas, como lo sostiene una encuesta AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) sobre *Hypochaeris salzmanniana* (Asteraceae; Tod F. Stuessy, Universidad de Viena, Austria).

#### Paleoendemismo, radiaciones y cambio climático del Cuaternario

Un rasgo notable de la flora existente en la cuenca se refiere a modalidades de distribución geográfica muy limitada o dispersa y de bajo coeficiente especie-género, con muchos taxa principalmente de larga vida restringidos a islas o hábitat de montañas (Blondel & Aronson 1999). En numerosas instancias, esto ha dado pie a especulaciones acerca de su estatus de "paleoendémicas" de probable origen en el Terciario. Una endémica rara de los Alpes Marítimos, *Saxifraga florulenta*, sirve como buen ejemplo: la evidencia molecular indica que las especies evolucionaron en el Mioceno tardío, muy posiblemente entre el Tortoniano (11,6-7,2 millones de años) y el Mesiniano (Elena Conti y Frank Rutschmann, Universidad de Zürich, Suiza). Precariamente, si las tendencias actuales del calentamiento global se mantienen, la adaptación ecológica estricta de

esta saxifraga a sustratos silíceos, a las más elevadas alturas de los Alpes Marítimos, podría representar un riesgo de extinción. En general, exceptuando la presencia de especies hermanas/descendientes no reconocidas, dichas paleoendémicas mediterráneas deberían ser de considerable interés para los evolucionistas, ya que implican largos períodos sin especiación. A su vez, la identificación de factores que eviten que estas plantas se diversifiquen (baja dispersabilidad) puede proporcionar indicios sobre lo que se necesita para la especiación (Coyne & Orr 2004).

Sin embargo, hay muchos grupos de plantas en especial de corta vida que han producido una gran cantidad de especies ecogeográficamente diferenciadas en la cuenca, y existe una evidencia creciente de que la radiación adaptativa se produjo sólo hace poco. Esto se cumple muy bien en el caso de un clado mediterráneo del *Senecio*, donde la filogenia molecular indica una diversificación casi simultánea y relativamente nueva de ca. 10 especies (distribución actual amplia o restringida) dentro del Cuaternario tardío (< 1 millón de años, Coleman *et al.* 2003). Aun así no son muchos los estudios de este tipo, pero es probable que aumenten en el futuro próximo, ya que muchas filogenias presentadas durante la conferencia son de igual forma sugerentes de eventos de especiación más o menos nuevos y "explosivos", por ej., dentro de Compositae-Anthemideae (Christoph Oberprieler, Universidad de Regensburg, Alemania) o *Centaurium* (Gentiana-ceae; Guilhelm Mansion, Universidad de Neuchâtel, Suiza).

Especialmente para taxa de corta vida, tal vez este cuadro de radiaciones recientes y rápidas que está emergiendo no resulte sorprendente, dado que recién se ha establecido un clima tipo mediterráneo en el límite del Plio-Pleistoceno, que podría haber permitido la invasión de hábitat nuevos y vacíos después del exterminio de una flora mesofítica del Terciario (Coleman *et al.* 2003). Discutible, a medida que se acumula mayor información de estudios paleoambientales y genéticos (Willis *et al.* 2004), también surge la duda acerca de la gran influencia que podrían haber ejercido las oscilaciones climáticas del Cuaternario ( $\leq$  1.8 millones de años) sobre los patrones de diversificación geográfica y las tasas crecientes de especiación en la cuenca, como se sugiere respecto de las aves cantoras del Mediterráneo de la especie *Sylvia* (Blondel *et al.* 1996) o de los sapos anatólicos de la montaña (Veith *et al.* 2003).

Por desgracia tenemos muy pocos datos filogenéticos de taxa vegetales del Mediterráneo que se hayan usado para verificar hipótesis acerca de tasas diferenciales de diversificación dentro de (o entre) cladogramas que puedan coincidir con un cambio climático del Cuaternario o con movimientos asociados al nivel del mar. Este último factor, que en particular ofrece la posibilidad de alopatria, probablemente es responsable de las tasas aceleradas de especiación en *Nigella* (Ranunculaceae) del archipiélago Egeo (Christiane Bittkau, Universidad de Mainz, Alemania).

Finalmente, es en este escenario que la disciplina de la filogeografía molecular en rápido crecimiento (Avice 2000) alcanza su máxima velocidad. Varios participantes en el simposio destacaron la importancia de los cambios climáticos del Cuaternario, en haber dado forma a la estructura genética espacial de hoy de una variedad de especies vegetales en la cuenca del Mediterráneo, entre las que se incluyen helechos (*Asplenium*), coníferas (*Pinus*), encinas perennes y caducas, y diversas hierbas costeras (*Cakile maritima*). Sin embargo, a menudo es difícil establecer inferencias sólidas sobre el pasado histórico de poblaciones, únicamente a partir de datos genéticos, cuando se carece de datos paleoecológicos o éstos son poco informativos. Por otra parte, el poder del enfoque filogeográfico se ve ilustrado por estudios recientes de mtADN en *Pinus sylvestris*, que indican la existencia de refugios en el norte de la Península Ibérica, lo que permitió que las especies sobrevivieran las glaciaciones del Pleistoceno (Rachid Cheddadi, Universidad de Montpellier, Francia). Esto anula el concepto erróneo común de que los refugios glaciales ibéricos de especies boscosas estaban totalmente confinados a las zonas del extremo sur de la península.

#### Conclusiones

A pesar de haber sido testigos de períodos anteriores de floreciente investigación sobre la biosistemática y taxonómica vegetal (Strid 1970), es sólo recientemente que la región del Mediterráneo, y su cuenca en

particular, han recuperado el interés por parte de los evolucionistas. Como se observó, el área es abundante en patrones de distribución de especies sorprendentemente diversos y en coeficientes especie-género. Esto requiere no sólo considerar el origen temporal de una amplia gama de linajes de plantas, sino también sus tasas de formación de especies en el tiempo, y tratar de correlacionar estas tasas con factores paleogeológicos, paleoclimáticos o ecológicos, o con rasgos biológicos inherentes a los organismos (caracteres clave) que podrían promover la especiación (Coyne & Orr 2004). Aun cuando estos tópicos no fueron de mucho interés durante el simposio, se esbozaron los avances teóricos y prácticos para investigar las causas generales y tasas de especiación dentro y entre clados basados en filogenias derivadas de datos moleculares (Barracough & Nee 2001, Kadereit *et al.* 2004). Además, existen métodos cimentados en la filogenia para inferir el modo geográfico de especiación (alopátrico, simpátrico), por ej., delineando el grado de zona de superposición de taxa hermanos frente a su edad de divergencia. Este último enfoque, aunque criticado sobre la base de cambios de rangos en el pasado, que podrían haber erradicado los signos de la biogeografía de la especiación, se ha aplicado con éxito a un variado rango de animales (ver Coyne & Orr 2004), lo que sugiere que la especiación simpátrica no es frecuente en la naturaleza.

Evidentemente, los resultados obtenidos de todos los enfoques enunciados deben ser calificados en función de los supuestos subyacentes, incluidos el tema del muestreo (in)completo de taxón, la respuesta y vigor de las filogenias (con frecuencia se las confunde con hibridación, clasificación incompleta de linajes, o ambas), o las dificultades para calibrar los largos de las ramas en tiempo real. De ser confiables, estos nuevos métodos analíticos proporcionarán un enfoque efectivo para resolver algunos problemas de hace mucho tiempo, acerca del origen y curso temporal de la diversificación vegetal en la región del Mediterráneo, y sus fuerzas involucradas.

### Agradecimientos

El autor se disculpa por no haber considerado todas las áreas de investigación abordadas durante la conferencia de Valencia en forma más equilibrada, y haber enfatizado en cambio los tópicos biogeográficos. Mis agradecimientos a Joachim W. Kadereit (Universidad de Mainz) por sus valiosos comentarios a un primer borrador de este artículo. También quiero agradecer sinceramente la beca Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG Co 254/3-1) recibida como apoyo a los gastos de traslado.

\* Texto traducido del inglés por Eleonora Ramos Vera.

### Glosario

**alopátrico** = con dos o más taxones que ocupan lugares geográficamente diferentes.

**belida** = del latín *bellis* e *īdis*, margarita.

**clado** = grupo o linaje monofilético (que incluye a todos los taxones que descienden de un ancestro común).

**filogenia** = historia evolutiva de un taxón.

**filogeografía** = disciplina de nexos entre la genética de poblaciones y el análisis filogenético.

**fitogeografía** = estudia la localización de la vida vegetal en la superficie terrestre.

**geófito** = hierba cuya forma de vida consiste en conservar sus yemas vegetativas (tejidos de los cuales salen los brotes anualmente) a muchos centímetros bajo el suelo, en órganos de reserva como bulbos y rizomas.

**mesofítica** = vegetación de una ecología intermedia entre el medio seco y el acuático.

**plesiomorfía** = estado más primitivo o ancestral de un carácter.

**simpátrico** = con dos o más taxones que ocupan el mismo rango de distribución o rangos de distribución superpuestos.

### Referencias bibliográficas

- Avice JC. 2000. *Phylogeography: the history and formation of species*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press.
- Barracough TG & S Nee. 2001. Phylogenetics and speciation. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 391–399.
- Blondel J & J Aronson. 1999. *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Blondel J, F Catzeffis & P Perret. 1996. Molecular phylogeny and the historical biogeography of the warblers of the genus *Sylvia* (Aves). *Journal of Evolutionary Biology* 9: 871–891.
- Castella V, M Ruedi, L Excoffier, C Ibáñez, R Arlettaz & J Hausser. 2000. Is the Gibraltar Strait a barrier to gene flow for the bat *Myotis myotis* (Chiroptera: Vespertilionidae)? *Molecular Ecology* 9: 1761–1772.
- Caujapé-Castells J, RK Jansen, N Membrives, J Pedrola-Monfort, JP Montserrat & A Ardanuy. 2001. Historical biogeography of *Androcymbium* Willd. (Colchicaceae) in Africa: evidence from cpDNA RFLPs. *Botanical Journal of the Linnean Society* 136: 379–392.
- Coleman M, A Liston, JW Kadereit & RJ Abbott. 2003. Repeat intercontinental dispersal and Pleistocene speciation in disjunct Mediterranean and desert *Senecio* (Asteraceae). *American Journal of Botany* 90: 1446–1454.
- Comes HP & JW Kadereit. 2003. Spatial and temporal patterns in the evolution of the flora of the European Alpine System. *Taxon* 52: 451–462.
- Coyne JA & HA Orr. 2004. *Speciation*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Debussche M, E Garnier & JD Thompson. 2004. Exploring the causes of variation in phenology and morphology in Mediterranean geophytes: a genus-wide study of *Cyclamen* L. *Botanical Journal of the Linnean Society* 145: 469–484.
- Gutiérrez B, J Fuertes & G Nieto. 2002. Glacial-induced altitudinal migrations in *Armeria* (Plumbaginaceae) inferred from patterns of chloroplast DNA haplotype sharing. *Molecular Ecology* 11: 1965–1974.
- Hardy OJ, SC González-Martínez, H Fréville, G Boquien, A Mignot, B Colas & I Olivieri. 2004. Fine scale structure and gene dispersal in *Centaurea corymbosa* (Asteraceae) I. Pattern of pollen dispersal. *Journal of Evolutionary Biology* 17: 795–806.
- Kadereit JW, E Griebeler & HP Comes. 2004. Quaternary diversification in European alpine plants: pattern and process. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 359: 265–274.
- Levin D. 2001. *The origin, expansion, and demise of plant species*. New York, NY, USA: Oxford University Press.
- Lihová J, A Tribsch & TF Stuessy. 2004. *Cardamine apennina*: a new endemic diploid species of the *C. pratensis* group (Brassicaceae) from Italy. *Plant Systematics and Evolution* 245: 69–92.
- Pérez R, P Vargas & J Arroyo. 2003. Convergent evolution of flower polymorphism in *Narcissus* (Amaryllidaceae). *New Phytologist* 161: 235–252.
- Quézel P. 1985. Definition of the Mediterranean region and origin of its flora in: Gómez-Campo C (ed.). *Plant conservation in the Mediterranean area*. Dordrecht, The Netherlands: Dr. W Junk, 9–24.
- Ramsey J, HD Bradshaw Jr. & DW Schemske. 2003. Components of reproductive isolation between the monkeyflowers *Mimulus lewisii* and *M. cardinalis* (Phrymaceae). *Evolution* 57: 1520–1534.
- Sanderson MJ. 2002. Estimating absolute rates of molecular evolution and divergence times: a penalized likelihood approach. *Molecular Biology and Evolution* 19: 101–109.
- Strid A. 1970. Studies in the Aegean Flora. XVI. Biosystematics of the *Nigella arvensis* complex with special reference to the problem of non-adaptive radiation. *Opera Botanica* 28: 1–169.
- Suc JP. 1984. Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature* 307: 429–428.
- Vargas P (in press). Are Macaronesian islands refugia of relict plant lineages? A molecular survey in: Weiss SJ & N Ferrand (eds.). *Phylogeography in southern European refugia: evolutionary perspectives on the origins and conservation of European biodiversity*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Veith M, JF Schmidler, J Kosuch, I Baran & A Seitz. 2003. Palaeoclimatic changes explain Anatolian mountain frog evolution: a test for alternating vicariance and dispersal events. *Molecular Ecology* 12: 185–199.
- Willis KJ, KD Bennett & D Walker (eds.). 2004. The evolutionary legacy of the ice ages. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 359.
- Wood TE, JM Burke & LH Rieseberg (in press). Parallel genotypic adaptation: when evolution repeats itself. *Genetica*.

## Seminario - Taller

**SEMINARIO DE CAPACITACIÓN EN MANEJO DE JARDINES BOTÁNICOS DEL PROGRAMA “INVIRTIENDO EN LA NATURALEZA” (ARGENTINA) Y SEGUNDO TALLER SOBRE JARDINES BOTÁNICOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Jardín Botánico “Arturo E. Ragonese” de Buenos Aires  
7 al 12 de junio de 2004

La Red de Jardines Botánicos de Argentina ([ana@irn.inta.gov.ar](mailto:ana@irn.inta.gov.ar)), asociada a Botanic Gardens Conservation International (BGCI), lanzó un nuevo programa para los jardines botánicos en su país. Está siendo financiado por el Banco HSBC, a través del proyecto “Inversiones en la Naturaleza”, con el objetivo de desarrollar las capacidades de los jardines botánicos de Argentina en temas relativos con educación y conservación; proporcionará apoyo financiero durante tres años.

Organizado por la Red de Jardines Botánicos Argentinos y la BGCI, el primer seminario de capacitación del programa se concentró en el manejo y desarrollo de jardines botánicos. El evento congregó a 31 representantes de Argentina, la reunión más amplia de personal de jardines botánicos que se haya realizado en ese país. Se contó también con la participación de representantes de los jardines botánicos de Chile, Paraguay y Uruguay, lo que enriqueció la experiencia a la vez que contribuyó al fortalecimiento de las relaciones regionales. Dado que en el área se están proyectando y construyendo algunos nuevos jardines botánicos, el seminario brindó una excelente oportunidad para socializar experiencias, y fortalecer y ampliar las redes de intercambio.

Durante el seminario fue elaborado además un borrador del Plan de Acción Nacional para la Red Argentina de Jardines Botánicos (RAJB). Argentina es a nivel mundial uno de los países más extensos, y que cuenta con mayor biodiversidad; por esta razón el desarrollo de un plan de acción que congregue a la comunidad de jardines botánicos constituye un gran desafío. Gracias al entusiasmo y energía de los participantes, en seis días se logró un significativo avance.

El Jardín Botánico Chagual tuvo la oportunidad de presentar su proyecto y líneas de acción futura, y cuenta con el respaldo de la red argentina para impulsar la formación de una red de jardines botánicos chilenos.

## Congreso

**SEGUNDO CONGRESO MUNDIAL DE JARDINES BOTÁNICOS, BARCELONA 2004**

Entre el 17 y el 22 de abril de 2004, con la asistencia de 500 delegados de 71 países, se celebró en Barcelona (España) el 2º Congreso Mundial de Jardines Botánicos. Organizado por Botanic Gardens Conservation International (BGCI) e instituciones científicas y gubernamentales colaboradoras de Barcelona, este encuentro permitió realizar un foro internacional para discutir y revisar los progresos y aportes a la Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos, y el análisis de los propósitos que serán necesarios para su cabal aplicación. Respaldada por los 1.100 delegados participantes en el Primer Congreso Mundial de Jardines Botánicos celebrado en Asheville (EE.UU.) en 2000, la agenda representa una contribución de la comunidad mundial de jardines botánicos a la Estrategia Global de Conservación de Especies Vegetales (GSPC).

Dado que más de seis millones de plantas de unas 100.000 especies se mantienen en jardines botánicos de todo el mundo, el congreso reveló el decisivo papel que ellos pueden jugar en la conservación de la biodiversidad del planeta; se definieron políticas de actuación común y 20 metas para implementar la Estrategia Global en Jardines Botánicos, con miras a ser alcanzadas en 2010 ([www.bgci.org.uk/events/congress\\_conclusions](http://www.bgci.org.uk/events/congress_conclusions)). Ello implica que los jardines deben plantearse alcanzar un mayor protagonismo en los procesos de conservación y en las actividades sociales ligadas al uso del medio natural, potenciando su compromiso social y cultural, y concientizando a la sociedad de la necesidad de desarrollar un uso sostenible de los recursos vegetales, entre otros aspectos.

La experiencia en los últimos años de conservación a través de los jardines botánicos, y la proliferación de algunos especializados en la conservación, aconsejan potenciar estos nuevos modelos de jardines *in situ* orientados a la conservación práctica, sin menoscabo del papel que pueden y deben realizar los jardines clásicos.

Desde esta mirada, además de los temas de política, se desarrollaron varios simposios. En ellos se abordaron temas de conservación *ex situ*, conservación integrada y conservación de ecosistemas como: ecología e investigación de la restauración; avances en el estudio de la flora mediterránea; uso de técnicas moleculares en la conservación vegetal; vínculos botánicos y zoológicos; colaboración entre ciencia y horticultura; bases de datos sobre conservación; aplicación de nuevas líneas de trabajo y uso de nuevas tecnologías en la educación; impacto de los jardines botánicos en la comprensión de nuestra relación con el medio ambiente; los jardines botánicos como patrimonio cultural y científico; uso del voluntariado en apoyo de la conservación vegetal; importancia de abordar temas locales para la conservación, la educación ambiental y la sostenibilidad; el papel de los jardines botánicos en la conservación de la etnobotánica; la recuperación de los conocimientos autóctonos; diseño y desarrollo de jardines botánicos sostenibles; el turismo como alternativa de sostenibilidad; creación y mantenimiento de redes de jardines botánicos.

El Jardín Botánico Chagual de Santiago de Chile participó en una reunión convocada por la Asociación Latinoamericana y del Caribe de Jardines Botánicos, con la finalidad de revisar las metas de conservación a corto, mediano y largo plazo propuestas por la Estrategia Global para la Conservación de Plantas y la Agenda Internacional de Conservación para los Jardines Botánicos (2004-2010). En ella participaron también representantes de Argentina, Brasil, México, Colombia, Santo Domingo y Cuba.

Al cierre del congreso, la directora del Jardín Botánico de Barcelona, Núria Membrives, hizo pública la firma del convenio de colaboración entre esta institución y el Jardín Botánico Chagual. Se acordó también plantear el establecimiento de un Día Internacional de los Jardines Botánicos a través de UNESCO.





**Foto 1.** Ejemplares de *Puya violacea* dentro del invernadero. **Foto 2.** Experimento de enraizamiento de *Nothofagus macrocarpa*. **Foto 3.** Ejemplares de *Echinopsis chilensis* propagados en el vivero. **Foto 4.** Cristina Felsenhardt y Alejandro Lüer trabajando en maqueta del Plan Maestro. **Foto 5.** Alumnas en práctica repican plántulas de *Puya berteroniana*. **Foto 6.** Stella Ravello (técnico agrícola) y tres alumnas en práctica en el vivero del jardín.



**Foto 7.** Jardín Botánico de Valencia: M<sup>a</sup> Victoria Legassa, Antoni Aguilera y Catherine Kenrick. **Foto 8.** Experimento con clorofila en la Unidad de Educación del Jardín Botánico de Valencia. **Foto 9.** Firma del convenio de colaboración entre el Jardín Botánico Chagual y el Jardín Botánico de Barcelona, abril 2004. De izquierda a derecha, sentadas: Antonia Echenique y Núria Membrives.; de pie, M<sup>a</sup> Victoria Legassa y Catherine Kenrick.



**Foto 10.** Entrega del Sello Bicentenario. De izq. a derecha: Juanita Zunino, Antonia Echenique, Sebastián Teillier, Cristina Felsenhardt, José Weinstein (Ministro de Cultura), Constanza Valenzuela, Paula Villagra, M<sup>a</sup> Victoria Legassa, Mélica Muñoz y Catherine Kenrick. **Foto 11.** El Presidente de la República, Ricardo Lagos, junto a Antonia Echenique y M<sup>a</sup> Victoria Legassa. **Foto 12.** Parte del equipo Chagual en un patio de La Moneda.



**Fotos 13 y 14.** Grupo de amigos del jardín botánico en excursión por el desierto florido en 2004. **Foto 15.** En el Arboretum de la Universidad Austral, frente a un queule, con los participantes del Taller de Presentación de Resultados proyecto Iniciativa Darwin. **Foto 16.** Recolectando semillas en Radal 7 Tazas.





Sello Bicentenario obtenido por el proyecto  
Jardín Botánico Chagual de Santiago,  
Palacio de la Moneda, 12 de diciembre de 2004.

