

Árboles de valor forestal en las Yungas de la Alta Cuenca del Río Bermejo

LUCIO R. MALIZIA
Fundación ProYungas

SILVIA PACHECO
Fundación ProYungas

BETTE A. LOISELLE
Harris World Ecology Center y Departamento de Biología,
Universidad de Missouri-St. Louis

Correspondencia: Lucio R. MaliziaFundación ProYungas – Sede Jujuy
Alvear 687 – 3C (Y4600AJE) San Salvador de JujuyJujuy – Argentina
luciomalizia@proyungas.com.ar

Resumen. Presentamos información sobre riqueza de especies, densidad de individuos y volumen maderable para especies de alto valor forestal en el gradiente altitudinal de las Yungas de la Alta Cuenca del Río Bermejo (noroeste de Argentina y sur de Bolivia), y elaboramos mapas de distribución de estas especies a partir de modelos basados en datos de inventarios. El área de estudio representa una fuente sustancial de maderas valiosas y una prioridad de conservación de la biodiversidad para Argentina. Obtuvimos datos para 12 especies forestales, que correspondieron a 2242 individuos censados a los 600 m, 1100 m, 1600 m y 2100 m s.n.m. La selva pedemontana albergó la mayor riqueza de especies (10), densidad de individuos (199,6 individuos/ha) y volumen maderable (85,6 m³/ha); estos parámetros cambiaron marcadamente a lo largo del gradiente altitudinal. El área de mayor concentración de especies forestales, que incluyó nueve especies, cubrió una superficie aproximada de 1.364 km² de selva pedemontana. Estas áreas de mayor concentración de especies forestales también albergaron más individuos de estas especies forestales y concentraron volúmenes mayores de madera valiosa que las áreas de baja concentración de especies forestales. El aprovechamiento forestal sustentable de la selva pedemontana podría representar la manera más eficiente para evitar la conversión del bosque a campos de cultivo, que para el año 1998 cubría <35% (ca. 3500 km²) de su distribución original.

Abstract. Valuable timber species in mountain forests of the upper Bermejo river basin. We provide information about species richness, tree density and hardwood volume for valuable timber species along the altitudinal gradient of subtropical mountain forest (Yungas) in north-western Argentina and southern Bolivia, and we modeled the distribution of these species based on presence-absence data. The study area represents an important source for valuable hardwood and is a conservation priority in Argentina. We obtained information for 12 timber species, corresponding to 2.242 individuals recorded at 600 m, 1.100 m, 1.600 m and 2.100m a.s.l. Premontane forest harbored the highest species richness (10), tree density (199,6 individuals/ha) and hardwood volume (85,6 m³/ha); these parameters changed markedly along the altitudinal gradient. The area of highest concentration of timber species, that included nine species, spanned over an area of approximately 1.364 km² of premontane forest. The areas with highest species richness also harbored more individuals of these species and concentrated highest hardwood volumes. By 1998, premontane forest covered <35% (ca. 3500 km²) of its original distribution; the sustainable use of timber species at premontane forests may represent the best chance to prevent further forest replacement by agriculture.

INTRODUCCIÓN

La conservación a largo plazo de los bosques de montaña andinos, como las Yungas, dependerá en gran medida de las actividades humanas que se desarrollen afuera de las áreas protegidas, las que suelen albergar un porcentaje menor del paisaje. El aprovechamiento forestal sustentable puede constituir una buena oportunidad para proteger grandes superficies de bosque, y la información ecológica sobre especies de maderas valiosas puede ayudar a mejorar la sustentabilidad de la actividad forestal y a alcanzar el objetivo de la protección al largo plazo del bosque. Este doble objetivo sólo podrá lograrse a través de una cuidadosa planificación del uso de los recursos naturales. Sin embargo, en las Yungas hay una carencia importante de información de base para la planificación del uso del bosque. Nuestro conocimiento sobre distribución y abundancia de especies forestales es escaso, lo que complica los esfuerzos actuales para mejorar las prácticas forestales hacia un manejo sustentable y la conservación del bosque.

Nuestro conocimiento sobre la distribución de especies de árboles en el Neotrópico es extremadamente pobre. (e.g., Pitman et al. 1999). Incluso la distribución de especies de alto valor forestal, como el roble salteño (ver nombres científicos en Tabla 1), que esta considerada como localmente amenazada en parte de su rango (WCMC 2004), se conoce sólo para unas 40 localidades dispersas en Sur América tropical (Prado y Gibbs 1993). Este nivel de detalle resulta inapropiado para el manejo forestal y para la conservación del bosque, ya que sirve poco para la planificación territorial a escala predial, de paisaje o regional, que es la escala de trabajo de los forestales y los agentes de planificación y conservación. Idealmente, se requerirían mapas detallados (e.g., 1 km² de tamaño de grano) de todas las especies de valor forestal para una región amplia (e.g., 10.000 km²), asociados a estimaciones de densidad y tamaño de los árboles (i.e., volumen maderable).

Raramente se dispone de información ecológica sobre composición, abundancia y tamaño de las especies de árboles a escala de paisaje o regional, aunque ésta resulta básica para implementar acciones que promuevan el manejo y la conservación de largas extensiones de bosque. En general para los bosques andinos, y particularmente para las Yungas, esta información debería provenir de gradientes altitudinales completos, porque la composición y abundancia de las especies cambia dramáticamente con la altura sobre el nivel del mar.

En este trabajo presentamos información sobre composición, abundancia y tamaño del fuste de 12 especies de alto valor forestal para el gradiente altitudinal de Yungas de la Alta Cuenca del Río Bermejo (noroeste de Argentina y sur de Bolivia), y elaboramos mapas de distribución a partir de modelos basados en datos

de inventarios. El área de estudio representa una fuente sustancial de maderas valiosas (Romero 2004) y una prioridad de conservación de la biodiversidad para Argentina (Brown et al. 2003).

Los objetivos particulares de este trabajo fueron: i) determinar la densidad y el volumen maderable de 12 especies forestales; ii) predecir las distribuciones de estas especies en el área de estudio usando modelos de nicho ecológico; iii) localizar las áreas de concentración de especies de alto valor forestal; y iv) analizar el valor de estas áreas en términos de uso y conservación del bosque.

MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en el sur de Bolivia y el noroeste de Argentina (21°–25.5°S, 63.3°–66.2° W), en las selvas de montaña conocidas como selva tucumano-boliviana o Yungas australes, las que representan la distribución más austral de las selvas de montaña andinas (Cabrera 1976). El área de estudio tiene una extensión de aproximadamente 500 km, incluyendo el Departamento de Tarija en Bolivia y las provincias de Jujuy y Salta en Argentina, y cubre un área aproximada de 70.000 km². Basado en la composición florística, se reconocen a grandes rasgos tres pisos altitudinales de vegetación (Brown 1995): 1) selva pedemontana, entre 400 m y 750 m s.n.m.; 2) selva montana, entre 750 m y 1600 m s.n.m.; y 3) bosque montano, entre 1600 m y 2300 m s.n.m.

Datos de las especies

La composición específica, la densidad y el tamaño maderable de los árboles fueron determinados a partir de una red de 30 parcelas permanentes de 1 ha cada una (20 m por 500 m) instaladas en Yungas entre 2002 y 2004. Esta red incluye ocho parcelas a aproximadamente 600 m s.n.m., ocho parcelas a aproximadamente 1100 m s.n.m, siete parcelas a aproximadamente 1600 m s.n.m. y siete parcelas a aproximadamente 2100 m s.n.m. La distancia entre parcelas promedió los 78,8 km ($\pm 51,3$ DE), y presentó un rango entre 1 km y 240 km. En cada parcela se realizó un inventario de todos los árboles no apoyantes ≥ 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP, 1,3 m). De este total, seleccionamos las 12 especies forestales de mayor valor para la región (Tabla 1). Para cada individuo, medimos DAP y estimamos altura total, y para una muestra de 919 árboles también estimamos la altura del fuste (i.e., hasta la primera ramificación importante). Construimos un modelo de regresión entre la altura total (x) y la del fuste (y) que resultó estadísticamente

Tabla 1. Densidad y volumen maderable de 12 especies forestales en el gradiente altitudinal de las Yungas de la Alta Cuenca del Río Bermejo. Parámetros calculados considerando individuos ≥ 10 cm de DAP.

Especies	Niveles altitudinales (m s.n.m.)											
	Densidad (ind./ha)			Área Basal (m ³ /ha)			Volumen Maderable (m ³ /ha)					
	600	1100	1600	2100	600	1100	1600	2100	600	1100	1600	2100
Afata (<i>Cordia tricotoma</i>)	3,4	3,0	-	-	0,13	0,12	-	-	-	0,8	0,7	-
Cebil colorado (<i>Anadenanthera colubrina</i>)	65,2	10,9	-	-	3,83	0,88	-	-	-	24,2	4,7	-
Cedro kolla (<i>Cedrela lilloi</i>)	-	3,7	15,4	22,0	-	0,33	2,60	1,14	-	-	1,2	21,3
Cedro Orán (<i>Cedrela balansae</i>)	5,4	1,5	-	-	0,54	0,15	-	-	-	3,2	0,9	-
Lanza blanca (<i>Patagonula americana</i>)	3,9	5,1	0,1	-	0,19	0,13	-	-	-	0,9	0,5	3,0
Lapacho rosado (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	13,1	0,7	-	-	0,68	0,03	-	-	-	4,2	0,1	-
Nogal (<i>Juglans australis</i>)	-	3,5	23,8	3,0	-	0,79	1,62	0,21	-	-	5,4	6,0
Palo amarillo (<i>Phyllostylon rhamnoides</i>)	51,7	0,1	-	-	3,43	-	-	-	-	20,2	-	-
Palo blanco (<i>Calicophyllum multiflorum</i>)	25,9	-	-	-	2,00	-	-	-	-	13,2	-	-
Quina (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	5,5	5,1	-	-	0,32	0,28	0,01	-	-	2,1	1,6	0,1
Roble salteño (<i>Amburana cearensis</i>)	0,9	-	-	-	0,06	-	-	-	-	0,4	-	-
Urundel (<i>Astronium urundeava</i>)	24,6	0,2	-	-	2,36	0,04	-	-	-	16,6	0,2	-
Total (especies forestales únicamente)	199,6	30,5	39,4	25,0	13,5	2,8	4,2	1,4	85,6	15,2	30,3	5,5
Total (todas las especies arbóreas)	518,1	495,3	605,9	543,9								

significativo ($r^2 = 0,37$, $P < 0,001$, $n = 919$), lo que nos permitió construir una ecuación ($y = 0.4753x + 1.3983$) para calcular la altura del fuste de todos los árboles de especies forestales restantes ($n = 1319$).

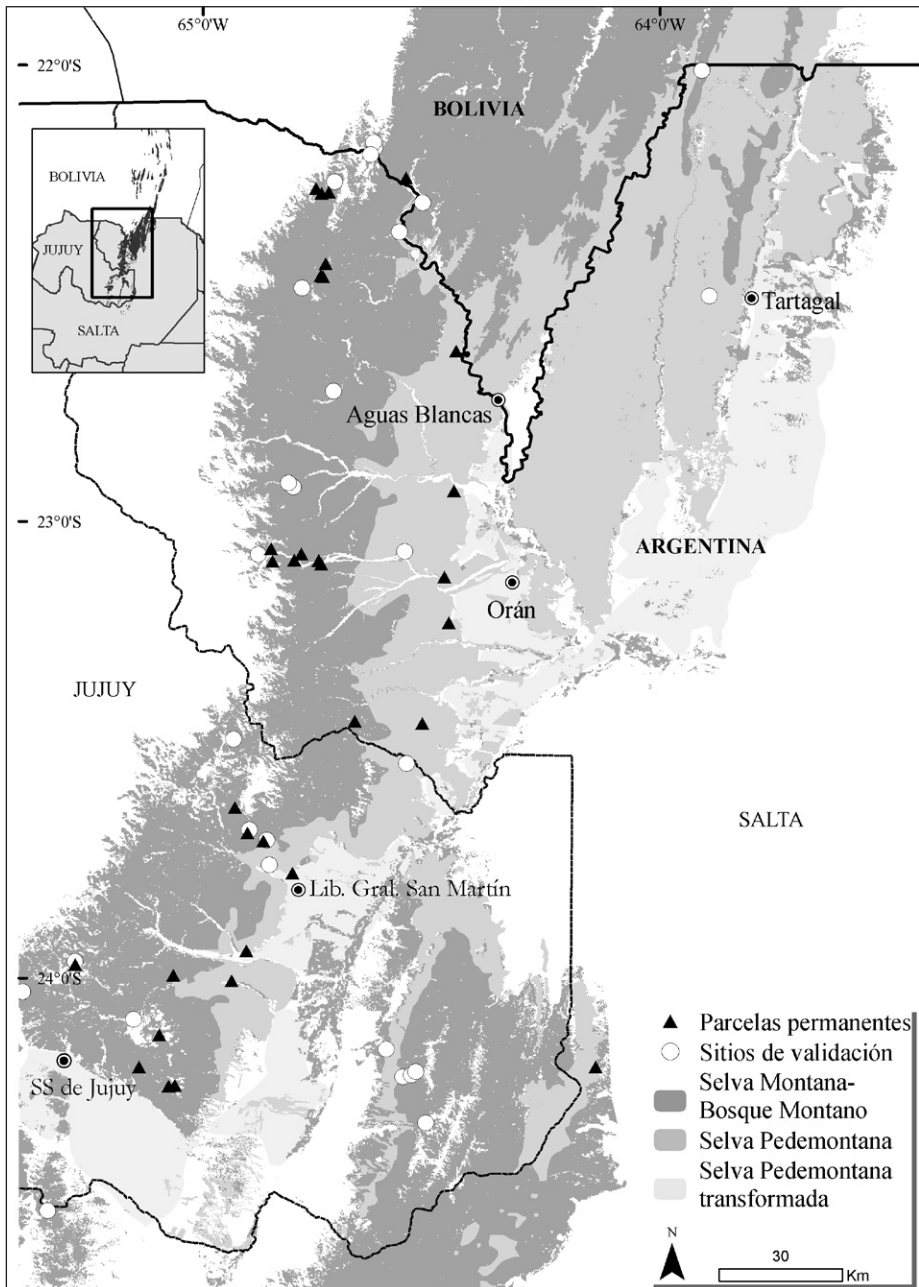
Brindamos información sobre área basal (en m^2) y volumen maderable (en m^3). El área basal representa la superficie cubierta por la sección horizontal de los troncos de los árboles, medida a 1,3 m. El área basal fue calculada como: $\pi \times DAP^2 / 4$. Esta medida es ampliamente usada en estudios de estructura del bosque y por ende es útil para comparaciones entre áreas y estudios. También brindamos información del volumen maderable, estimada para el fuste principal, calculado como: área basal \times altura fuste \times factor de forma. El factor de forma o coeficiente de disminución tiene en cuenta la reducción en diámetro del tronco hacia la punta del árbol; usamos un valor recomendado para la región de 0,65 (E. Baluducci, com. pers.).

Modelos de distribución

Describimos la distribución de las especies forestales a nivel regional (70.000 km^2) utilizando el modelo de nicho ecológico GARP (<http://biodi.sdsc.edu/>), calculado con el programa Desktop GARP (<http://beta.lifemapper.org/desktopgarp/>). GARP busca asociaciones no aleatorias entre las características ambientales de los sitios donde se encuentra presente la especie de interés y las características de toda el área de estudio (Stockwell y Noble 1992, Stockwell y Peters 1999). Luego de generar 100 modelos GARP para cada especie, obtuvimos un mapa hipotético de distribución de cada especie superponiendo los 20 mejores modelos (Anderson *et al.* 2003, Levine *et al.* 2004) usando ArcView GIS 3.2 (ESRI 1999). De este modo, cada punto (píxel) del mapa de distribución muestra un valor predictivo de presencia: 20 es el valor máximo donde todos los modelos seleccionados predicen la presencia de la especie, y cero es el valor mínimo donde ningún modelo predice la presencia de la especie.

La obtención de los modelos se hizo en dos etapas. Primero generamos los modelos de distribución con GARP usando los datos de presencia de las 30 parcelas de muestreo (datos de “entrenamiento”). Luego verificamos la validez de estos modelos utilizando otras 29 parcelas de muestreo independientes (datos de “validación”). Los sitios de validación se ubicaron en lugares que no habían sido muestreados previamente (Fig. 1). Cada sitio cubrió aproximadamente 0,7 km^2 , que es el tamaño de píxel que se usó en la generación de los modelos (ver más abajo). En los sitios de validación sólo registramos presencia-ausencia de especies. Evaluamos la significancia de los modelos de distribución de cada especie usando la prueba estadística no paramétrica de dos muestras de Mann-Whitney (Elith y Burgman 2002). Básicamente, evaluamos si los sitios con presencia confirmada

Figura 1. Distribución de Yungas en la Alta Cuenca del Río Bermejo, incluyendo la distribución de las 30 parcelas permanentes de muestreo y los 29 sitios de validación para los modelos de distribución de GARP (ver Métodos).



(datos de validación) presentaron valores de GARP mayores que los sitios donde la especie no fue encontrada. Esta prueba es recomendable porque brinda una medida del desempeño del modelo que no depende de un umbral prefijado (Elith y Burgman 2002).

Las bases de datos ambientales (coberturas de SIG) usadas para crear los modelos incluyeron variables climáticas, topográficas y de cobertura de la vegetación. En total utilizamos 10 variables: temperatura media anual, isothermalidad (rango medio diario/rango anual), estacionalidad térmica (desvío estándar anual de las temperaturas mensuales medias), orientación de la ladera (utilizando transformaciones de seno y coseno), pendiente, elevación y tres variables estimadas de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Empleamos los datos de temperatura de WORLDCLIM (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.html>), disponibles en una grilla con resolución de 30 arco segundos (~1 km² en el ecuador y ~0.72 km² en el área de estudio) (Hijmans *et al.* 2004). Utilizamos datos digitales de elevación producidos por la NASA (<ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/>), disponibles a escala global a una resolución de 3 arco-segundos (~90 m por ~90 m en el ecuador). A partir de esta superficie de elevación calculamos pendiente media, orientación media y elevación media a una resolución de 30 arco segundos. Obtuvimos datos de NDVI del Land Processes Distributed Active Archive Center (<http://edcdaac.usgs.gov/1KM/1kmhomepage.html>), disponibles a una resolución aproximada de 1,1 km². NDVI es una medida de la reflectividad de la vegetación de la superficie de la tierra (Lillesand y Kiefer 2000) y es representativa de la productividad de la vegetación (Chong *et al.* 1993). Basándonos en valores mensuales máximos, calculamos el valor máximo de NDVI, la estacionalidad anual y una medida intermedia de “verdor” (para más detalles consultar Parra *et al.* 2004). Todas las grillas de NDVI fueron re-calculadas a una resolución de 30 arco segundos para que coincidan con las grillas climáticas y de elevación.

Finalmente, superpusimos las distribuciones modeladas para cada especie para detectar sitios de alta riqueza de especies forestales. Usamos ArcView GIS 3.2 para reclasificar cada especie como presente (1 = presente en 19 o 20 modelos) o ausente (0 = presente en ≤18 modelos) en cada pixel, y luego sumamos todas las especies para obtener un valor por pixel que varió entre 12 (todas las especies modeladas presentes en un mismo pixel) y 0 (ninguna especie modelada presente en un pixel dado).

Figura 2. Modelos de distribución de las 12 especies forestales de la Alta Cuenca del río Bermejo.

1: *Cordia trichotoma*, 2: *Anadenanthera colubrina*, 3: *Cedrela lilloi*, 4: *Cedrela balansae*, 5: *Patagonula americana*, 6: *Tabebuia impetiginosa*, 7: *Juglans australis*, 8: *Phillostihlom rhamnoides*, 9: *Calicophyllum multiflorum*, 10: *Myroxilom peruviferum*, 11: *Amburana cearensis*, 12: *Astronium urundeuva*.

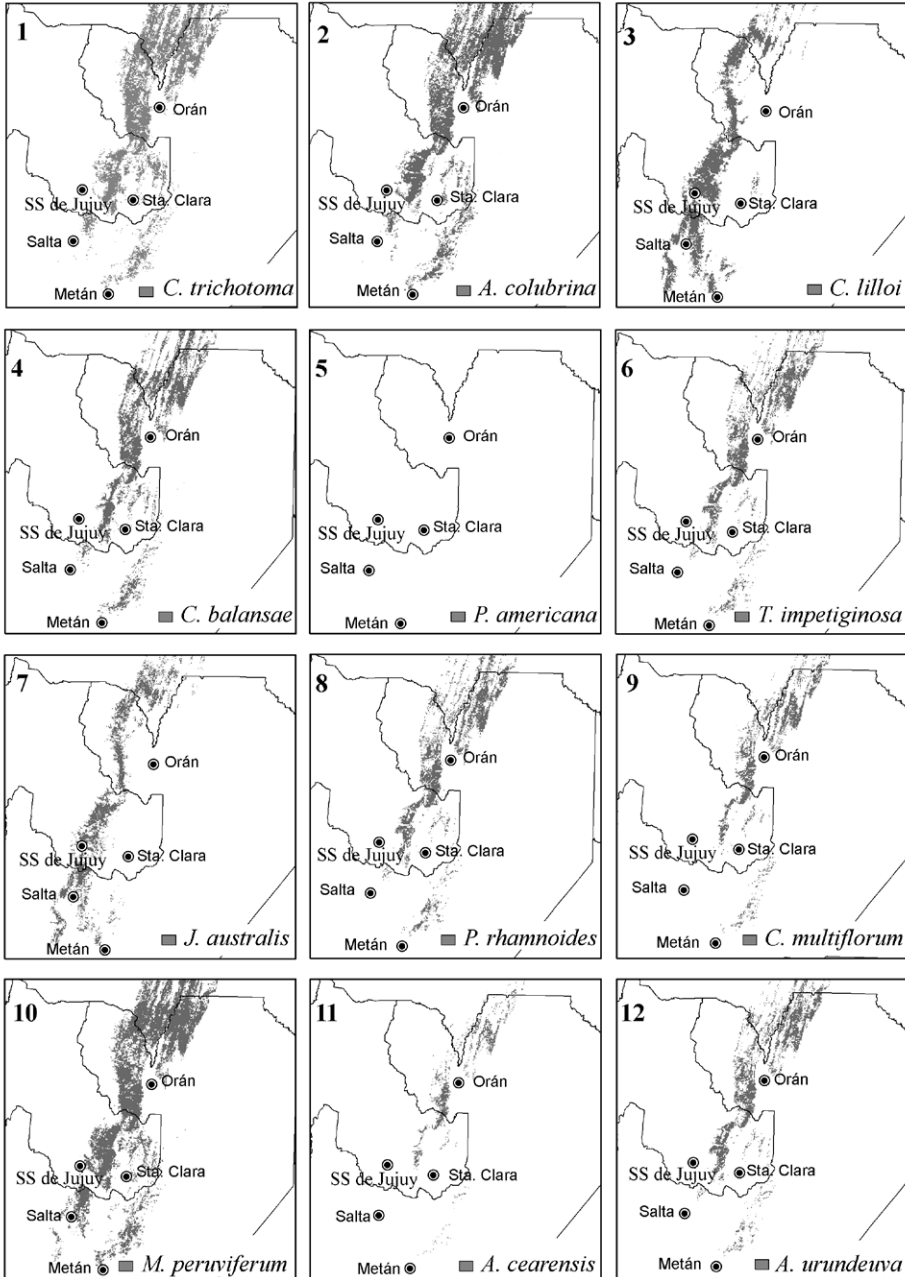


Tabla 2. Tamaño de muestra de los datos de entrenamiento (n ent) y de prueba (n prueba), valores de la prueba de Wilcoxon (Wilcoxon rank sum test) para presencia de especies (U), nivel de significancia (P) y área de distribución para los modelos de distribución de 12 especies de árboles de valor forestal de las Yungas.

Especies	n ent	n prueba	U	P	Área (km ²)
Afata	11	12	170,5	0,002	12.629
Cebil colorado	13	15	206,5	<0,001	12.583
Cedro coya	15	19	160,0	0,002	9.160
Cedro Orán	12	12	185,5	<0,001	8.475
Lanza blanca	10	14	157,5	<0,001	13.932
Lapacho rosado	9	10	187,0	<0,001	5.614
Nogal	10	10	143,0	0,026	6.787
Palo amarillo	23	22	149,5	<0,001	5.890
Palo blanco	8	4	94,5	0,001	3.746
Quina	13	17	162,0	0,007	16.812
Roble	6	5	116,0	<0,001	1.732
Urundel	9	7	139,5	<0,001	5.472

RESULTADOS

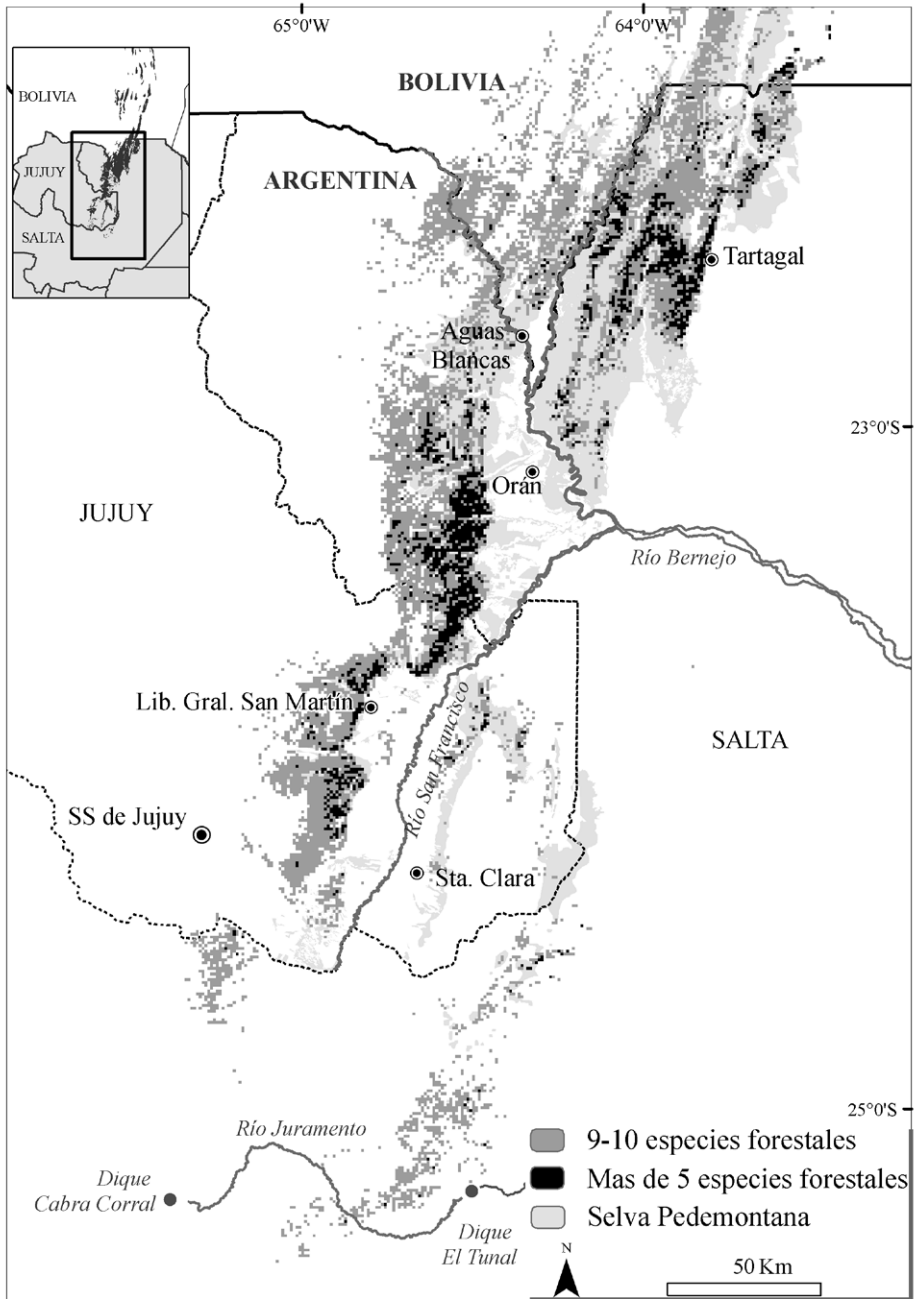
Riqueza, Densidad y Volumen Maderable

Censamos un total de 14.828 árboles correspondientes a 137 especies, de las cuales seleccionamos 12 especies forestales representadas por 2242 individuos (Tabla 1).

La composición específica y densidad de individuos de las especies forestales cambió marcadamente a lo largo del gradiente altitudinal de Yungas (Tabla 1). La selva pedemontana (ca. 600 m s.n.m.) albergó la mayor riqueza (10 especies) y densidad de especies forestales (199,6 individuos/ha). La selva montana a 1100 m s.n.m. también presentó 10 especies forestales, pero la densidad fue marcadamente menor (30,5 individuos/ha); a 1600 m s.n.m., la densidad fue relativamente similar (39,4 individuos/ha), pero la riqueza fue marcadamente menor (4 especies). En el bosque montano, tanto la riqueza de especies como la densidad de individuos presentaron los valores más bajos (2 especies, 25,0 individuos/ha). La especie forestal más abundante fue el cebil colorado, seguida del palo amarillo, ambas en la selva pedemontana (Tabla 1). Luego, con densidades intermedias, se registraron el palo blanco y el urundel (600 m), el nogal (1600 m), y el cedro coya (2100 m) (Tabla 1).

El volumen maderable de las especies forestales, considerado a partir de los 10 cm de DAP, fue mayor a los 600 m s.n.m. y presentó un nuevo pico a los 1600 m s.n.m (Tabla 1). El mínimo volumen maderable se registró a los 2100 m s.n.m. La

Figura 3. Áreas con concentración de especies forestales en el área de Yungas del sector norte de Argentina.



especie con mayor volumen maderable registrado fue el cebil colorado (600 m), seguida por el cedro coya (1600 m) y el palo amarillo (600 m) (Tabla 1).

Adicionalmente, en la Tabla 1 brindamos datos de área basal, para permitir eventuales comparaciones con otros estudios y con inventarios forestales, que típicamente presentan esta medida, ya que para obtener el volumen maderable se requieren datos de altura de fuste, que representa una medida menos frecuente en estudios de estructura del bosque.

Distribución de las Especies Forestales

Modelamos con éxito (i.e., modelos significativos, $P < 0.05$) la distribución de las 12 especies forestales seleccionadas (Fig. 2). El área estimada de distribución, basada en una probabilidad de ocurrencia $\geq 95\%$, tiene un tamaño promedio de 8.569 km² (± 4.556 DE) y tuvo un rango de entre 1.732 km² y 16.812 km². Las especies con mayor área de distribución (más de 12.500 km²) fueron el cebil colorado, la afata, la lanza blanca y la quina (nombres científicos en Tabla 1). Las especies con menos área de distribución fueron el roble salteño y el palo blanco (Tabla 2).

En la selva pedemontana se concentran nueve especies con valor forestal (afata, cebil colorado, cedro orán, lapacho rosado, palo amarillo, palo blanco, quina, roble salteño y urundel), ocupando una superficie de 1.364 km² (Fig. 3). Una estimación más liberal, considerando la co-ocurrencia de al menos ocho especies (selva pedemontana y selva montana), representó una superficie de 2.453 km², mientras que el cálculo de co-ocurrencia de al menos cinco especies fue de 6.304 km² (Fig. 3).

Las áreas de mayor concentración de especies forestales también albergaron más individuos de estas especies que las áreas de baja concentración de especies forestales, ya que el número de especies y de individuos por hectárea estuvieron positivamente correlacionados (correlación de Spearman, $r_s = 0,68$, $P < 0,0001$, $n = 28$). De modo adicional, las áreas de mayor concentración de especies forestales concentraron volúmenes mayores de madera valiosa que las áreas de baja concentración, ya que el número de individuos y el volumen maderable por hectárea estuvieron positivamente correlacionados ($r_s = 0,85$, $P < 0,0001$, $n = 27$).

DISCUSIÓN

Este estudio brinda, hasta donde sabemos, la primera estimación a escala regional (i.e. 70.000 km²) de la distribución, la densidad de individuos y el volumen maderable de un grupo amplio de especies forestales a lo largo de un gradiente altitudinal completo en los Andes.

Más de un tercio (38,6%) de todos los individuos presentes en la selva pedemontana (ca. 600 m) correspondieron a especies de alto valor forestal. Este porcentaje indica el enorme potencial de la selva pedemontana como fuente sustentable de recursos madereros. Sin embargo, la selva pedemontana ha sido masivamente reemplazada (>50%) por áreas de cultivo en las partes planas, y los sitios planos y colinados remanentes están típicamente expuestos a un aprovechamiento intensivo que degrada el recurso forestal (Grau y Brown 2000, Brown y Malizia 2004).

La selva montana y el bosque montano presentaron porcentajes marcadamente menores de individuos de especies forestales (1100 m: 6,1%; 1600 m: 6,4%; 2100 m: 4,6%) que la selva pedemontana. Sin embargo, algunas especies presentes en estos niveles altitudinales, con abundancias intermedias, registraron altos volúmenes maderables, como el cedro coya, que a su vez es una de las especies de mayor valor económico de la región (>us\$250/m³). Esto indica la importancia de los pisos superiores de Yungas como proveedores de bienes forestales, y la necesidad de manejar sustentablemente estos recursos para garantizar su conservación y productividad al mediano y largo plazo.

Distribución de las Especies Forestales

Nuestros resultados sugieren que puede estimarse adecuadamente la distribución de las especies de árboles a escala de regional (i.e., 10.000's–100.000's km²) en base a un número relativamente bajo de localidad de presencia-ausencia (e.g., 30). Las estimaciones a esta escala son cruciales para afrontar decisiones de conservación y desarrollo. Aunque somos concientes de que nuestros mapas de distribución son perfectibles, creemos que representan un progreso significativo en comparación con los mapas disponibles en la actualidad. Volviendo al caso del roble salteño que presentamos en la introducción, el mejor mapa disponible muestra sólo cuatro localidades para nuestra área de estudio (Prado y Gibbs 1993). En contraste, nuestro mapa, con una resolución de 1 km², muestra que el roble ocupa una superficie aproximada de 1.700 km² en la Alta Cuenca del Río Bermejo (la distribución más pequeña de las especies consideradas). Esta especie se distribuyó en el borde oriental de menor altura de las Yungas, principalmente en forma adyacente a las áreas transformadas. A partir de nuestras estimaciones, consideramos que las instituciones responsables del manejo de los recursos naturales disponen de mejor información para evaluar el uso y la conservación de esta especie en la región, tanto en relación con la red existente de áreas protegidas como con las tendencias actuales de uso y transformación del bosque.

Este estudio brinda mapas de distribución de las 12 especies forestales más importantes del noroeste de Argentina. La superposición de estos mapas a su vez

permitió determinar las áreas de mayor concentración de especies forestales en la región (Fig. 3). Estas áreas, sin embargo, no serían necesariamente las que albergan la mayor densidad y volumen maderable, información que sería de sumo interés para optimizar el manejo del bosque. Nosotros encontramos que el número de especies y la densidad de individuos estuvieron positivamente correlacionados, y que a su vez la densidad de individuos y el volumen maderable estuvieron también positivamente correlacionados. De este modo, sugerimos que las áreas de alta concentración de especies forestales presentan mayores densidades de individuos forestales y de volumen maderable que las áreas de baja concentración de especies forestales.

La localización y la descripción de las características de las áreas de alta concentración de especies forestales no significan necesariamente un beneficio directo para el uso sustentable y la conservación del bosque. Sin embargo, creemos que este trabajo sí representa un aporte valioso que apunta en esta dirección. El aprovechamiento forestal sustentable tiene mayor probabilidad de implementarse si se basa en un conjunto amplio de especies de alto valor forestal. Esto, por supuesto, debe estar acompañado de planes de manejo forestal adecuados, tecnología apropiada para el procesamiento de la madera y controles de cosecha satisfactorios. Este conjunto de acciones permitiría que el sector forestal sea un aliado importante para la conservación del bosque nativo y de la biodiversidad que este alberga.

Conservación de la Selva Pedemontana

La selva pedemontana, exclusiva de las Yungas australes, han sufrido una larga historia de transformación (>150 años), particularmente en las áreas planas. Esto ha generado preocupación creciente sobre su situación de conservación para las próximas décadas (Prado 1995, Bertonatti y Corcuera 2000, Grau y Brown 2000, Brown y Malizia 2004). El aprovechamiento forestal sustentable (incluyendo buena rentabilidad) de esta selva podría representar la manera más eficiente para evitar la conversión del bosque a campos de cultivo, que para el año 1998 cubría <35% (ca. 3500 km²) de su distribución original (Gasparrí y Menéndez 2004).

Las áreas de alta concentración de especies forestales identificadas en este trabajo están distribuidas principalmente a lo largo del borde oriental de las Yungas, a una distancia menor a los 10 km desde el borde de la frontera agrícola. Este dato sugiere que las áreas remanentes de mayor productividad forestal (actual o potencial) del noroeste de Argentina podrían estar amenazadas por el avance de la frontera agrícola, en detrimento del capital forestal de la región. No ignoramos aquí los beneficios económicos de la transformación de la selva pedemontana en áreas de cultivo; por el contrario, destacamos el valor económico potencial y el

valor de conservación que puede tener un manejo forestal sustentable de la selva pedemontana. Finalmente, con estos resultados esperamos estimular la discusión sobre los costos y beneficios de usar y conservar la selva pedemontana en particular, y las Yungas en general.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Claudio Aguirre, Eneas Toranzo, Maria José Tulli, Gabriela Quintana, Uriel Colina, Erica Cuyckens, Rolando Guevara y Elida Abán por su trabajo como asistentes, y a Cecilia Blundo por su trabajo como coordinadora del equipo. La realización de este estudio fue posible gracias al soporte financiero de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos de Norteamérica, del Centro de Ecología Mundial Harris, (Universidad de Missouri-St. Louis), de la Fundación ProYungas y de IdeaWild. Agradecemos a las autoridades de la Dirección Provincial de Política Ambiental y Recursos Naturales de Jujuy, a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta y a la Administración de Parques Nacionales por los permisos de trabajo, y a los muchos propietarios privados y comunidades aborígenes que nos permitieron trabajar en sus propiedades.

LITERATURA CITADA

- Anderson R., Lew D. y A. Peterson. 2003.** Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Brown A. D. y L. R. Malizia. 2004.** Las Selvas Pedemontanas de las Yungas: en el umbral de la extinción. *Ciencia Hoy* 14: 52-63.
- Brown A. D., Grau A., Lomáscolo T. y N. I. Gasparri. 2002.** Una estrategia de conservación para las selvas subtropicales de montaña (Yungas) de Argentina. *Ecotrópicos* 15: 147-159.
- Brown A. D., Grau H. R., Malizia L. R. y A. Grau. 2001.** Argentina. Pp. 623-659 en *Bosques nublados del neotrópico*. Kappelle M. y A. D. Brown (eds.). Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica.
- Chong D., Mougín S. y J. Gastellu-Etcheberry. 1993.** Relating the global vegetation index to net primary productivity and actual evapotranspiration over Africa. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1517-1546.
- Elith J. y M. Burgman. 2002.** Predictions and their validation: rare plants in the Central Highlands, Victoria, Australia. Pp. 303-313 en *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*. Scott J., Heglund P., Morrison M., Haufler J., Raphael M., Wall W. y F. Samson (eds.). Island Press, Washington, DC.
- ESRI. 1999.** ArcView GIS, versión 3.2. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California.
- Grau A. y A. D. Brown. 2000.** Development threats to biodiversity and opportunities for conservation in the mountain ranges of the Upper Bermejo River Basin, NW Argentina and SW Bolivia. *Ambio* 29: 445-450.
- Hijmans R., Cameron S. y J. Parra. 2004.** WorldClim, versión 1.2. Base de datos climáticos de la

- superficie de la tierra a escala de kilómetro cuadrado (disponible en <http://biogeo.berkeley.edu/>).
- Levine R., Peterson A. y M. Benedict. 2004.** Geographic and ecological distributions of the *Anopheles gambiae* complex predicted using a genetic algorithm. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 70: 105-109.
- Lillesand T. y R. Keifer. 2000.** Remote sensing and image interpretation, 4ta edición. Wiley Press.
- Pacheco S. E. y A. D. Brown. 2006.** La biodiversidad de la ecorregión de las Yungas ¿Es sustentable a largo plazo? Pp. 59-60 en *La situación ambiental argentina 2005*. Brown A., Martínez Ortíz U., Acerbi M. y J. Corchera (eds.). Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.
- Parra J., Graham C. y J. Freile. 2004.** Evaluating alternative data sets for ecological niche models of birds in the Andes. *Ecography* 27: 350-360.
- Pitman N., Terborgh J., Silman M. y P. Nuñez. 1999.** Tree species distribution in an upper Amazonian forest. *Ecology* 80: 2651-2661.
- Prado D. 1995.** Selva Pedemontana: contexto regional y lista florística de un ecosistema en peligro. Pp. 19-52 en *Investigación, conservación y desarrollo en selvas subtropicales de montaña*. Brown A. D. y H. R. Grau (eds.). Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Tucumán.
- Prado D. y P. E. Gibas. 1993.** Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80: 902-927.
- Romero M. 2004.** Los recursos forestales de la Selva Pedemontana. *Ciencia Hoy* 14: 61.
- Stockwell D. e I. Noble. 1992.** Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematical Computation and Simulation* 33: 385-390.
- Stockwell D. y D. Peters. 1999.** The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science* 13: 143-158.
- WCMC. 2004.** UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Tree Campaign, *Amburana cearensis*. (Disponible en http://www.unep-wcmc.org/trees/trade/amb_cea.htm).

