

Regeneración natural inducida y plantaciones forestales con especies nativas: potencial y limitaciones para la recuperación de bosques tropicales degradados en los llanos occidentales de Venezuela

Mauricio Jerez^{*1}, Ana Quevedo², Ana Yajaira Moret³, Miguel Plonczak¹, Vicente Garay³, Lawrence Vincent¹, José David Silva⁴, y Luis E. Rodríguez Poveda⁴

¹*Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Vía Chorros de Milla, Mérida, Venezuela, 5101.*

²*Escuela Técnica Superior Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Vía Chorros de Milla, Mérida, Venezuela, 5101.*

³*Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Vía Chorros de Milla, Mérida, Venezuela, 5101.*

⁴*Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Vía Chorros de Milla, Mérida, Venezuela, 5101.*

*jerezorama@gmail.com

Resumen

La destrucción de bosques en los Llanos Occidentales de Venezuela se ha acelerado en los últimos 15 años, al punto que sólo quedan relictos fragmentados y degradados. Esto ha ocasionado la pérdida de ecosistemas únicos, teniendo como consecuencia que muchas especies de animales y vegetales estén en peligro de extinción. En los años setenta, la Universidad de Los Andes, junto con organismos nacionales e internacionales, inició programas de investigación en los bosques de Caparo y El Caimital (Barinas). El objetivo fue abordar, científicamente, la problemática del manejo forestal productivo y su sostenibilidad, a fin de producir resultados y metodologías extrapolables a otras áreas similares del país. Se establecieron tres ejes de investigación: ecológica, silvicultural aplicada y de manejo forestal. Se presentan los resultados y conclusiones de más de 40 años de seguimiento de ensayos de regeneración natural inducida y plantaciones con especies nativas (líneas, fajas, campo abierto), establecidos con base en las características de las comunidades vegetales y la autoecología de especies arbóreas características. Los ensayos de regeneración natural inducida produjeron información del efecto de algunos tratamientos (apertura del dosel, preparación de suelos, dispersión de semillas) sobre la regeneración de especies forestales, así

Palabras clave

Bosques en los Llanos Occidentales, manejo forestal productivo, plantaciones forestales, regeneración natural.

como de las dificultades de orden operacional que pueden presentarse en proyectos de esta naturaleza. Los ensayos de plantación se hicieron en las comunidades boscosas ecológicamente más importantes y con las técnicas más prometedoras, basados en diseños experimentales adecuados concebidos para obtener resultados confiables y extrapolables a situaciones similares. Se probaron más de 20 especies nativas en ensayos con superficies desde una hasta 70 ha. Varias especies se descartaron y las mejores continúan siendo monitoreadas, habiendo abarcado buena parte de su ciclo de vida. Se discute la utilidad de los resultados, así como de las metodologías de establecimiento y evaluación, con miras a la elaboración, implementación y seguimiento de programas de recuperación de bosques degradados, mediante métodos de regeneración natural inducida y plantaciones.

INTRODUCCIÓN

La destrucción de los bosques de los Llanos Occidentales de Venezuela se ha realizado a un ritmo acelerado en los últimos 15 años, al punto que sólo quedan algunos relictos relativamente intactos y otros fuertemente degradados. Notoria ha sido la destrucción de las reservas forestales Turén, Ticoporo, Caparo y San Camilo. Esto ha conducido a la pérdida de ecosistemas únicos y a que muchas especies animales y vegetales que los conformaban estén al borde de la extinción. Desafortunadamente, la dinámica sociopolítica de la zona y del país, aunada a la fuerte vocación agropecuaria de sus tierras ha sido un factor determinante en la destrucción de estos bosques. Actualmente, el Ministerio del Ambiente adelanta programas de “Manejo Integral Comunitario del Bosque” en las reservas de Caparo y Ticoporo que contemplan la eventual permanencia del componente boscoso a través de programas de reforestación y restauración. Sin embargo, las causas que llevaron a la destrucción de estos bosques (de carácter cultural, político y socioeconómico) no han sido erradicadas. En los años sesenta, la Universidad de Los Andes (ULA), junto con organismos nacionales e internacionales inició programas de investigación en los bosques de Caparo, Ticoporo y El Caimital (Edo. Barinas) con el objetivo de abordar la problemática del manejo forestal productivo y su sostenibilidad aplicando el método científico y principios de ecología, silvicultura y manejo forestal, a fin de producir resultados y metodologías extrapolables a otras áreas similares del país. Estas experien-

cias, poco difundidas, proporcionan una base sólida de conocimientos ecológicos y técnicos para llevar a cabo programas de restauración de los bosques estacionales inundables llaneros.

La restauración ecológica tiene como objetivo la recuperación de ecosistemas degradados, dañados o destruidos (SERI 2004). Para ello, partiendo del conocimiento ecológico de los sistemas naturales, el proceso de restauración dirige el ecosistema a través de una serie de fases sucesionales para recuperar su estructura y función (Peña *et al.* 2005). Bradshaw (1987) propuso que los principios de la restauración de ecosistemas terrestres son los mismos que los de la sucesión ecológica. Para lograr este objetivo existen dos enfoques que difieren considerablemente: 1) restaurar un área perturbada a su “estado natural”, aunque rara vez éste se conozca; y 2) crear un sistema que, aunque no igual al natural, sea mejor a como era previo a la restauración. En ambos casos se busca imitar el proceso natural de sucesión (MacMahon 1997). Para recuperar ambientes degradados, se pueden utilizar tres técnicas (Bradshaw 1983): 1) la restauración, con el fin de llegar a las condiciones originales del sitio, 2) la rehabilitación, donde se incluyen algunas especies exóticas para superar la degradación y 3) la recuperación, donde se utilizan sólo especies exóticas (Figura 1).

Fundamentalmente se busca devolver un hábitat o ecosistema a su estado original o a una condición tan cercana como sea posible a su estado previo a la degradación. A veces se busca mejorar

el hábitat para la recuperación de especies nativas raras o en extinción. Para ello se requiere de algún conocimiento previo del estado no degradado del sistema, incluyendo su estructura (especies presentes y abundancias relativas) y su función (dinámica de interacciones bióticas y abióticas). Para la mayoría de los ecosistemas sólo tenemos información incompleta sobre estructura y función, pero al menos una idea de las especies dominantes que existían es importante para definir el bosque restaurado meta (Karr 1996).

La práctica de la restauración ecológica en bosques tropicales se ha centrado fundamentalmente en el análisis de la problemática de la regeneración secundaria y la reversión del proceso de degradación. Meli (2003), en una revisión sobre los estudios realizados en el campo de la restauración y recuperación de áreas degradadas en Latinoamérica (13 países, 25 sitios), encontró una sobre-representación de estudios para las selvas húmedas bajas, mientras que los demás ecosistemas estuvieron subrepresentados en términos de la superficie relativa que éstos ocupan.

De los bosques tropicales, los secos y estacionales han sido los más severamente afectados por la actividad humana. A nivel pantropical, éstos han sido reemplazados por cultivos y ganadería. En América, estos bosques cubrían gran parte de Centroamérica y el norte de Suramérica; en Venezuela y Colombia ocupaban más de un millón de hectáreas de la región de los Llanos y piedemonte asociado. Esfuerzos

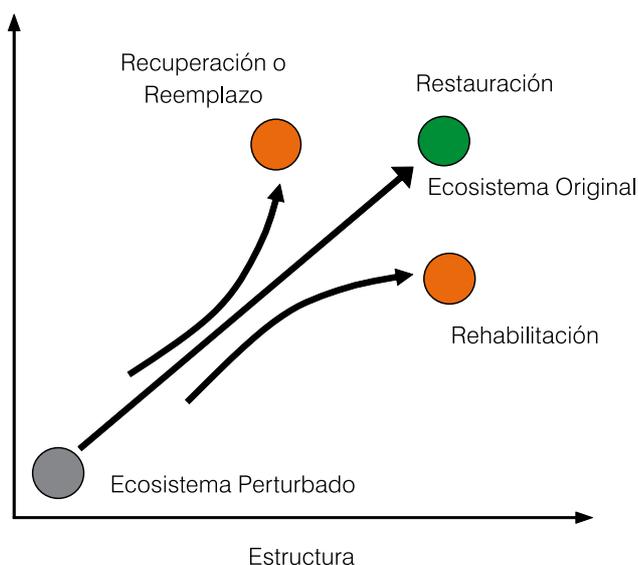


Figura 1. Representación esquemática de la restauración de un ecosistema perturbado (Modificado de Bradshaw 1983).

conducentes a la restauración de bosques similares han sido realizados en Tailandia (Hardwick *et al.* 2004). Una experiencia notoria en restauración de bosques secos en Latinoamérica se realizó en el parque nacional Guanacaste (Noroeste de Costa Rica), área antiguamente cubierta de bosques y casi totalmente convertida en pasturas y con una fuerte tradición de práctica de quemas anuales (Janzen 2002). Este esfuerzo, al parecer exitoso, se logró debido a cuatro factores principales: 1) voluntad política, 2) obtención de autoridad y regulación en los usos de la tierra en el parque, 3) supresión del factor perturbador (fuego) y 4) uso de principios ecológicos sólidos y técnicas sencillas para estimular la regeneración.

En Venezuela, las experiencias de restauración más frecuentes han estado orientadas a la rehabilitación y recuperación de áreas fuertemente degradadas y con procesos de pérdida del suelo. Estos proyectos se han llevado a cabo en cuencas altas andinas y zonas afectadas por minería y construcción de vialidad principalmente en el oriente del país.

Los objetivos de este capítulo son: 1) presentar los métodos, resultados y conclusiones de más de 40 años de experiencia en el establecimiento y seguimiento de ensayos de “regeneración natural inducida” y “ensayos de plantaciones” con especies nativas (líneas, fajas y campo abierto), partiendo del conocimiento de las características ecológicas de las comunidades vegetales presentes y de la autoecología de las especies arbóreas más resaltantes de estos bosques y 2) discutir cómo dichos métodos y resultados podrían contribuir en el establecimiento de programas de restauración ecológica y la factibilidad de llevarlos a cabo con éxito dadas las condiciones actuales en la región de los Llanos Occidentales de Venezuela. Las experiencias presentadas tienen un sesgo hacia especies de valor comercial como caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela* sp.), saqui-saqui (*Pachira quinata*) y pardillo (*Cordia* sp.), dado que los objetivos de las investigaciones no eran la restauración ecológica del bosque, sino su manipulación para mantener la productividad y sostenibilidad económica. Sin embargo, se generó mucha información sobre la dinámica de los bosques llaneros y el comportamiento de especies tanto comerciales como no comerciales que hoy día están en serio peligro de extinción debido a la destrucción de su hábitat natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Los Llanos de Venezuela se extienden desde el piedemonte andino en el oeste hasta el río Orinoco en el este y desde la cordillera de la Costa en el norte hasta la frontera con Colombia en el sur cubriendo aproximadamente 274.000 km² (Kammesheidt *et al.* 2001). De éstos, un tercio aproximadamente es lo que se conoce como Llanos Occidentales (Figura 2).

Las áreas de trabajo de este estudio abarcan tres bosques del estado Barinas conocidas como Caparo, Ticoporo y El Caimital (Figura 3).

La Reserva Forestal Caparo, con una superficie de 176.000 hectáreas (ha) y una altitud promedio de 140 m s.n.m. (Jerez & Vincent 1991), se ubica al suroeste del estado Barinas, se divide en unidades de manejo forestal, asignadas a empresas bajo la figura de concesión, y una unidad experimental con 7.800 ha administrada por la ULA, bajo la figura de Comodato con el Ministerio del Ambiente. (Figura 4). El Bosque "El Caimital" (Figura 5), propiedad de la Universidad de Los Andes se ubica al noroeste del estado Barinas, en el Distrito Obispos; forma parte del Bosque Masparro Arriba, bordeado al norte por el río La Yuca hasta muy cerca de su confluencia con el río Masparro. Este bosque cubre aproximadamente 800 ha de topografía plana (con altitud promedio de 200 m y pendiente $\leq 3\%$) y uniforme con ligeras irregularidades constituidas por el cauce de las corrientes de agua intermitentes que duran el periodo de lluvias, originando drenajes superficiales que forman las condiciones de banco y bajío de los bosques llaneros (Bernal 1967). La Reserva Forestal Ticoporo se encuentra en el oeste del estado Barinas, en el municipio Antonio José de Sucre, Distrito Pedraza. Ocupa 187.430 ha en topografía plana con pendientes menores al 1%, donde la ULA era Comodataria de 24.000 ha (Díaz 1988). El clima es el típico de la región de los Llanos con variaciones locales. La precipitación promedio anual varía entre los 2.500 mm en Ticoporo, cerca del piedemonte, 1750 mm para Caparo y 1500 mm en El Caimital. La temperatura promedio es de 25 °C con una variación entre el mes más caliente y el más fresco menor de 3 °C; existe una estación seca bien definida, desde noviembre a marzo-abril, cuando los alisios soplan desde el este al noroeste (Figura 6). La humedad relativa varía entre 59 % en enero y 89 % en junio. El resto del año la zona es afectada por la convergencia intertropical con altas precipitaciones (Kammesheidt *et al.* 2001).

El Caimital es el último relicto boscoso en los alrededores de la ciudad de Barinas, mientras que Caparo y Ticoporo son reservas forestales que se mantuvieron bajo bosque hasta mediados de los noventa. Hoy día, los bosques de Ticoporo han desaparecido totalmente, mientras que en Caparo sólo subsiste una masa forestal relativamente compacta en el área administrada por la ULA, en lo que parece ser el último relicto de Bosque Estacional Inundable, que cubrió buena parte de los Llanos Occidentales de Venezuela y orientales de Colombia. En estas áreas, la ULA realiza, desde los años sesenta, investigaciones de diversa índole conducentes a lograr el manejo sustentable de los bosques.

Estudios básicos para el manejo del bosque tropical alto en Los Llanos Occidentales

La declaración de ciertas áreas de los Llanos Occidentales como reservas forestales, entre los años cincuenta y setenta, para abastecer de productos madereros a Venezuela y la política de autoabastecimiento en productos forestales promovida por la nación, estimularon la realización de nu-

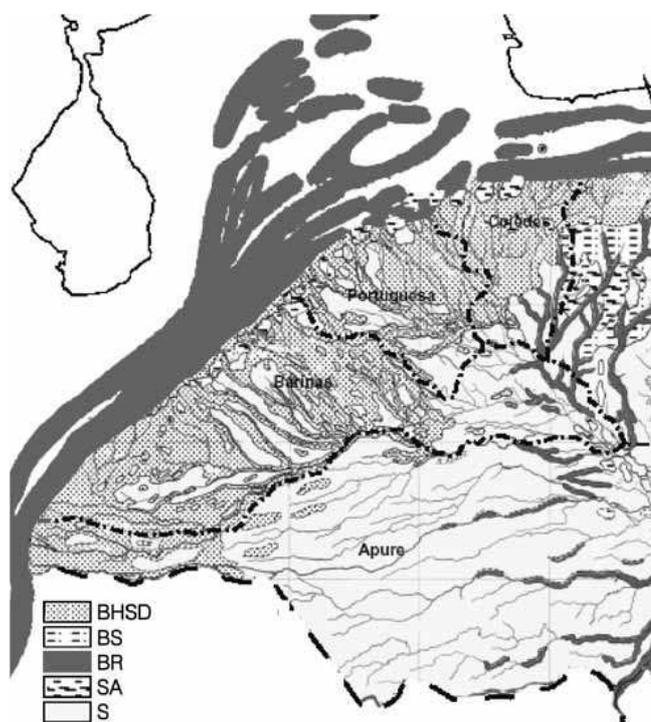


Figura 2. Distribución de los bosques estacionales de los Llanos Occidentales hacia los años sesenta (BHSD: Bosque Húmedo Semi Deciduo; BS: Bosque Seco; BR: Bosque Ribereño; SA: Sabana Arbolada; S: Sabana) (Kammescheidt *et al.* 2001)

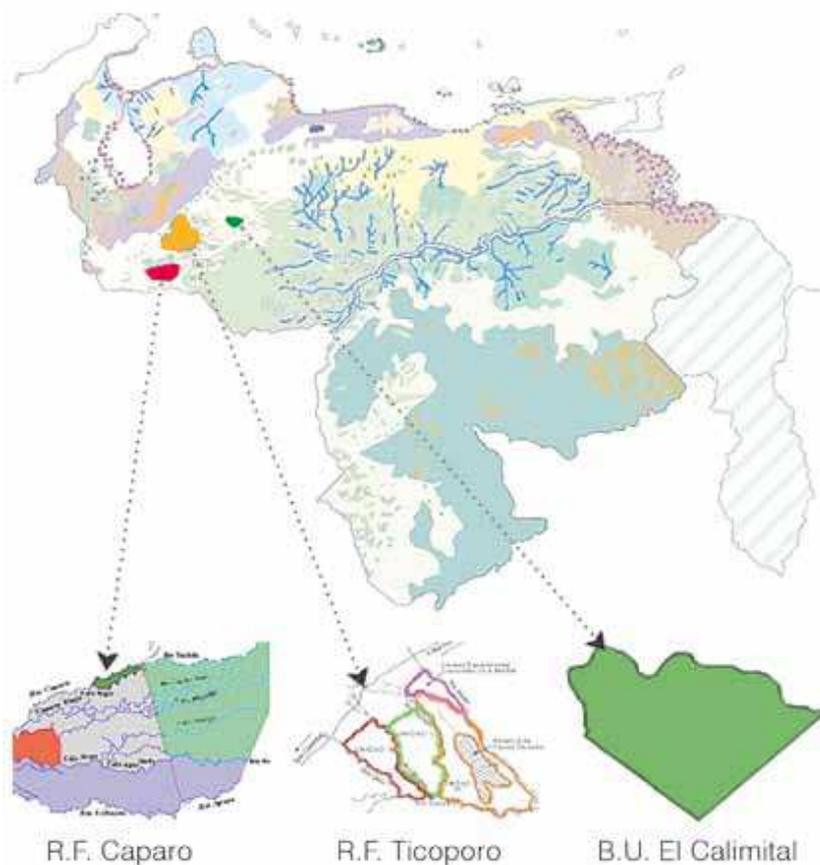


Figura 3. Ubicación de las áreas de estudio. Reserva Forestal Caparo, Reserva Forestal Ticoporo, Bosque Universitario El Calimital, Barinas, Venezuela.

meros estudios conducentes a lograr el manejo sostenible de estos bosques. La ULA realizó durante los años sesenta numerosos estudios sobre la ecología, productividad y forma de aprovechamiento del bosque, consistentes en levantamientos estructurales e inventarios forestales, aprove-



Figura 4. Imagen satelital (2005) de la Unidad Experimental Reserva Forestal Caparo, estado Barinas, Venezuela (Google Earth. Consulta en línea 10/01/2008).

chamientos a pequeña escala y tratamientos silviculturales, así como ensayos de plantaciones con fines de producción y mejora genética. Estos estudios se realizaron principalmente en Ticoporo y El Calimital; pero fue en Caparo a inicios de los setenta cuando se alcanzó el mayor grado de sistematización de las investigaciones con el objetivo de elaborar un Plan de Manejo de la Unidad I. El objetivo primordial de estos estudios fue tener bases ecológicas y económicas para llevar a cabo el manejo sustentable de los bosques llaneros mediante la manipulación de la regeneración, composición y estructura de éstos, a fin de que mantuvieran una alta productividad. Por ello, se enfatizó en el estudio de las condiciones necesarias para mantener y regenerar las poblaciones de especies con valor comercial.

Composición florística de los bosques llaneros (El Calimital, Caparo y Ticoporo)

Hasta los años cincuenta existió un cinturón continuo de bosques con una anchura de 100 a 150 km desde el piedemonte andino conformado por comunidades con predominancia de especies arbóreas desde deciduas a siempreverdes, intercalado con sabanas y matorrales, así como bosques ribereños y secos (Kammesheidt *et al.* 2001). La vegetación original presentaba una



Figura 5. Imagen satelital (2005) del Bosque Universitario El Calimital, municipio Obispos, estado Barinas, Venezuela (Google Earth. Consulta en línea 10/01/2008).

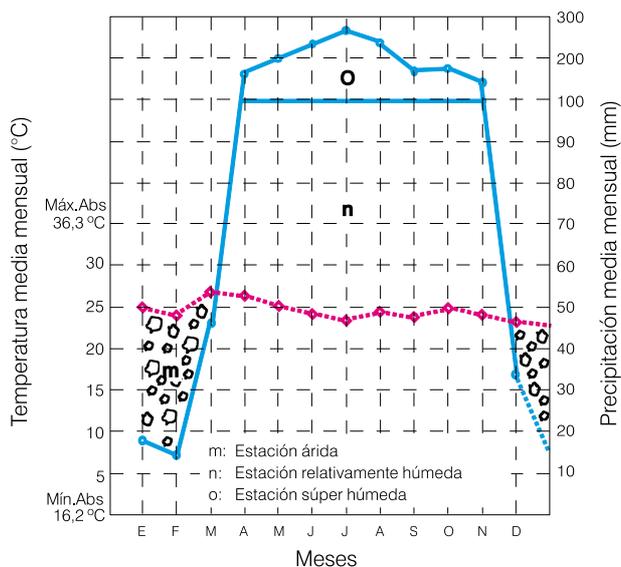


Figura 6. Climadiagrama de la Unidad I, Reserva Forestal Caparo, estado Barinas, Venezuela. (Periodo: 1969-1974; temperatura media anual: 24,6 °C; precipitación media anual: 1.655 mm; altitud: ± 100 m) (Adaptado de Torres 1975).

gran variabilidad, con bosques de 25 a 30 m de altura hasta sabanas de gramíneas. Según el sistema de clasificación de Holdridge la zona de vegetación corresponde a la transición entre el bosque seco tropical y el bosque húmedo tropical (Ewell *et al.* 1969) y a formaciones estacionales de selva veranera siempre verde, Subdecidua (combinación de especies siempreverdes y caducifolias) y decidua (Beard 1948). Debido al microrelieve, el número de especies siempreverdes cambia en cortas distancias (Hernández & Guevara 1994; Kammesheidt *et al.* 2001). En las zonas periódicamente inundables (bajíos), la mayoría de los árboles pierden las hojas en la estación seca, mientras que en sitios bien drenados (bancos) existen muchas especies siempreverdes. En ambos sitios existen bosques altos con árboles de hasta 40 m siendo la palma de agua (*Attalea maracaibensis*) una de las especies más notorias. El número de especies arbóreas (≥ 10 cm dap -diámetro a la altura de pecho medido a 1,30 m de altura-) va de 33 a 53 especies-ha⁻¹ (Plonczak 1989; Kammesheidt 1996). Si la inundación excede seis meses del año, el bosque alto es reemplazado por arbustales, *Heliconia* y vegetación gramínea, conformando los “esteros”.

Un estudio realizado por Lamprecht (1964) en 3 ha de los bosques de El Caimital registró hasta 50 especies arbóreas-ha⁻¹. El análisis del Índice de Valor de Importancia (IVI) indicó que las especies más representativas son: palma de agua, saqui-saqui (*Pachira quinata*), charo blanco (*Piratinera* sp.) y guamo (*Inga* sp.). Les siguen en orden de importancia guácimo (*Guazuma*

ulmifolia), araguato (*Calycophyllum candidissimum*) y tasajo (*Fissicalyx fendleri*).

Kochaniewicz & Plonczak (2004) realizaron un estudio florístico en 1,75 ha de bosques deciduos de bajo en la R.F. Caparo y encontraron que de 124 especies, 63 son arbóreas. Las más importantes son, según el IVI, palma de agua, bejuco iguano (*Anemopaegma* sp.) y platanillo (*Heliconia hirsuta*). En el estrato arbóreo destacan palo maría (*Triplaris americana*), cedrillo (*Trichilia hirta*) y yátago (*Trichanthera gigantea*). La selva sub-siempreverde se caracteriza por presentar al menos 50 % de especies siempreverdes y una proporción homogénea de especies deciduas obligatorias (25 %), considerándose como indicadores la palma mapora (*Roystonea oleracea*) en el estrato arbóreo y bijao negro (*Calatea lutea*) en el arbustivo. Las especies triaco (*Protium crenatum*) y zorrocloco (*Crataeva tapia*) del estrato arbóreo, con platanillo blanco (*Heliconia latisphata*) y bejuco peludito (*Passiflora* sp.) del arbustivo, caracterizan la selva subdecidua (entre 25 y 50 % de especies siempreverdes). Típicas de la selva decidua (60 a 100 % de especies caducifolias) de bajo son: cacho venado (*Alseis* sp.) del estrato arbóreo con caporuno (*Heliconia marginata*) y *Cestrum latifolium* del arbustivo. El saqui-saqui alcanza grandes diámetros pero presenta pocos individuos de tamaños intermedios y de regeneración.

Plonczak (1989) evaluó 4 ha en los bosques de Tipoporo, reportando 62 especies arbóreas. Según el IVI, chupón (*Pouteria reticulata*) es la especie más significativa. Le siguen: anime (*Protium tenuifolium*), palma de agua (*A. maracaibensis*), charo amarillo (*Brosimum alicastrum*) y perhuétamo (*Mouriri barinensis*), saqui-saqui (*P. quinata*) y mijao (*Anacardium excelsum*) destacadas por sus grandes dimensiones (Figura 7) y pobre regeneración lo que es característico de muchas de las especies maderables de estos bosques (Finol 1971; Lamprecht 1976; Kammesheidt 1996).

Descripción de los suelos y productividad

Los llanos se formaron con material de deposición de los Andes durante el Pleistoceno y el Holoceno, transportado por ríos que drenan en el Orinoco. A pesar de que el relieve es plano (pendiente ≤ 1 %), los procesos de sedimentación en los Llanos Occidentales han formado una llanura aluvial con un microrelieve claramente diferenciable en distancias cortas, perfiles verticales con alternancia de capas de diferentes texturas, producto de la dinámica fluvial (Franco

1992). Estos microrelieves conforman unidades fisiográficas diferenciadas por sus propiedades hidrológicas y edáficas características que determinan la vegetación que sobre ellas se desarrollan. Existen tres unidades básicas: a) bancos, que constituyen las zonas más altas y cuyos suelos suelen ser franco-arenosos; b) bajíos correspondientes al relieve más bajo, con drenaje pobre, inundables en la época lluviosa, y ricos en arcillas; y c) relieves de transición conocidos como subbancos con suelos franco-limosos a franco arcillosos (Franco 1979a). En los bajíos, la intensidad de la inundación depende del microrelieve y la textura del suelo (Franco & Fölster 1982; Vincent 1970). En general, dominan suelos de los órdenes Entisol, Inceptisol y Oxisol (Castillo 1966; Díaz 1988). En Caparo se realizaron estudios básicos sobre el suelo y la dinámica del agua en el mismo (Franco 1979b), la influencia de las variaciones del agua en el suelo sobre la vegetación y su periodicidad (Fölster & Franco 1976); y su relación con la estratificación ecológica (tipificación) del bosque (Vincent 1970), y trabajos sobre el complejo suelo-agua-vegetación y su influencia en la productividad del bosque natural, las plantaciones y otros usos de la tierra, tales como la producción de pasturas. En cuanto a la productividad, se estudió la producción de hojarasca y su composición química por tipos de bosque (Franco 1979b), su relación con el mantillo orgánico (Fölster & Franco 1978) y la disponibilidad de nutrientes en suelos de banco-arenoso (Hase 1979). Se estudiaron las propiedades físicas y el régimen hídrico de los suelos (Franco & Fölster 1982) y la cuantificación de bioelementos. Se concluyó que las selvas de Caparo corresponden a un bosque tropical Subsievpreverde, estacional, desarrollado sobre suelos aluviales y eutróficos (Hase & Fölster 1982).

Estratificación ecológica (tipificación del bosque)

En las áreas de estudio, el fundamento de la planificación y ordenamiento espacial fueron la cartografía y la estratificación ecológica según el método de “tipifi-



Figura 7. Árbol maduro de saqui-saqui (*Pachira quinata*) característico de los bosques altos de Caparo (Foto Jerez 2005).

cación” propuesto por Vincent (1970) para Caparo, extendida con modificaciones a otros tipos de bosques en el país y Suramérica.

La tipificación consiste en el estudio de la vegetación, haciendo uso de la estructura espacial de la misma y su concreción en la fisionomía y estructura de las formaciones vegetales. Los primeros estudios condujeron al establecimiento de tipos abstractos de vegetación (Pulido 1968); luego se analizó y cartografió la distribución horizontal de las comunidades. El método de tipificación para Caparo, y luego para otros bosques de los Llanos, se basó en la presencia (abundancia y grado de cobertura del dosel) de especies arbóreas caducifolias, la cual está asociada a las condiciones edáficas, principalmente disponibilidad real de humedad, así como en especies y fisionomía del sotobosque, y en la posición fisiográfica, apariencia y “textura al tacto” del suelo superficial. El grado de caducifolia permitió diferenciar dos tipos predominantes de comunidades arbóreas: 1) Selva decídúa (dosel conformado por 60 a 100

% de especies caducifolias) y 2) Selva subsievpreverde (dosel formado por menos de 30 % de especies caducifolias). En cuanto a la posición fisiográfica se identificaron como tipos principales 1) Banco, 2) Subbanco y 3) Bajío. La combinación de características fisiográficas, de estructura vertical del bosque, y de caducifolia determinan los tipos de bosque: 1) Selva subsievpreverde de banco (SsSV-Bn), 2) Selva decídúa de banco (SD-Bn), 3) Selva subsievpreverde de subbanco (SsSV-sBn), 4) Selva decídúa de subbanco (SD-sBn), 5) Selva subsievpreverde de bajío (SsSV-bj), 6) Selva decídúa de bajío (SD-bj) y, 7) Bosques de bajío, entre otros (Vincent 1970). En la tipificación, los términos “selva” y “bosque” corresponden a la diferenciación con respecto a la altura de la masa forestal siendo los “bosques” formaciones de baja altura (≤ 15 m), con solo dos estratos bien diferenciados en su estructura vertical, mientras que las selvas definen bosques de mayor altura (≥ 15 m hasta 30 m) y con un mínimo de tres estratos en su estructura vertical (Vincent 1970). Los tipos señalados anteriormente aparecen en orden descendente de capacidad productiva (productividad primaria) ocasionada por el drenaje y retención de humedad

que determinan el régimen hídrico, que es el factor ecológico preponderante en la región. Se determinó que la mayor proporción de la superficie correspondió a los tipos con serias limitaciones de aireación y suministro de humedad, lo que constituye una restricción ecológica fundamental para el manejo y usos de la tierra.

En Caparo, con base en la tipificación, se identificaron y delimitaron rodales homogéneos donde se realizaron estudios exploratorios de suelos (Corpoandes 1973). Se encontró que se trataba de suelos muy jóvenes, en proceso de deposición (por ejemplo cubetas de decantación en los bajíos) y se observaron estratos de sedimentación diferencial, típicos del paisaje aluvial de desborde, cuyas secuencias son el resultado de cambios de curso de los principales ríos y caños en periodos relativamente cortos a escala geológica. La clave para entender las variaciones de los suelos fue la comprensión de los procesos geomorfológicos que operaron y siguen operando en la región (Rodríguez *et al.* 2000). Los mapas de tipificación permitieron observar claramente los patrones de distribución de los tipos geomorfológicos y de suelos con los cuales están asociados los tipos de bosque.

Para fines de restauración de los bosques llaneros, el método de tipificación pierde gran parte de su potencial, debido a que la vegetación original fue eliminada o fuertemente alterada. Sin embargo, esta información puede ser recuperada mediante la ayuda de imágenes remotas (p.e. aerofotografías y más recientemente imágenes de satélite) tomadas en el pasado (años cincuenta a ochenta). Igualmente, existe información sobre la tipificación para muchas áreas de los bosques que existían en las reservas forestales.

Autoecología, sinecología y fenología

Se estudió la autoecología de las especies comerciales más importantes. Se analizó la distribución, exigencias ambientales y estructura en condiciones naturales y en plantaciones, estableciendo las relaciones pertinentes. Los estudios sinecológicos estuvieron enmarcados dentro del análisis de las comunidades vegetales materializadas en los tipos de bosque (Rodríguez *et al.* 2000). Se realizaron estudios fenológicos mediante observaciones del grado de caducifolia, floración y fructificación en 550 árboles (75 especies) marcados y numerados a lo largo de una transecta (Pica 9) de 3000 m de longitud (Corpoandes 1973). Los resultados permitieron determinar los patrones específicos de las principales especies y clasificarlas según categorías de caducifolia: siempreverdes, deciduas obligatorias y deciduas facultativas, información que sirvió para apoyar los esfuerzos de tipifi-

cación (ver **Apéndice 1**). Además, se observó alrededor de un centenar de especies, distribuidas en los tipos de bosque diferenciados en el área (Corpoandes 1973; Petit 1973; ULA-Corpoandes 1974; 1975). Se relacionaron las variaciones de la dinámica del agua en el suelo con la fenología de la vegetación boscosa en general (Fölster & Franco 1976) y luego con especies particulares (Franco 1979a; 1979b). Posteriormente, se estableció la relación entre el comportamiento de algunas especies forestales con la variación general del clima y el suelo (Fölster & Franco 1978) y la relación de la variación del agua en el suelo con la economía hídrica de los árboles seleccionados, en sitios clasificados según tipos de bosque (Hetsch & Fölster 1979).

Métodos de regeneración de especies

El estudio de la regeneración natural de las especies arbóreas y su relación con la dinámica del medio natural donde evolucionaron constituye una línea de investigación de particular importancia para proyectos de restauración, ya que entender esta relación permitirá conocer el potencial de regeneración de las especies a recuperar en condiciones distintas a las originales. Los ensayos de regeneración de especies con fines de manejo establecidos por la ULA partieron del conocimiento de la estratificación ecológica y riqueza comercial de los bosques. Los estudios de la dinámica de la regeneración se concentraron en los tipos de bosque de mayor interés para la producción de especies comercialmente valiosas, donde se ubicaron parcelas para monitorear la regeneración natural en condiciones no perturbadas. Se hicieron registros con periodicidad variable, relacionando las fluctuaciones de la misma con la estacionalidad de las lluvias. El análisis de las observaciones registradas entre los años sesenta y setenta en El Caimital (Finol 1964; Petit 1969) y Caparo (Corpoandes 1973), en parcelas permanentes, estableció que no existía regeneración natural adecuada para manejar el bosque de manera que pudiera mantener su productividad comercial en términos de las especies consideradas valiosas para aquel momento. Se sugirió que esto se debía a los requerimientos de luz, biología reproductiva y factores limitantes para la dispersión y germinación tanto en bosques intervenidos como no intervenidos (Finol 1964).

Ensayos de regeneración natural

Conociendo las limitaciones naturales fundamentales que aparentemente impedían el establecimiento satisfactorio de la regeneración natural de las especies

deseadas, se consideró que eran relativamente bajas las posibilidades de alcanzar un manejo productivo (en términos de rentabilidad) con base en la regeneración natural espontánea. Por ello, se ejecutaron varios ensayos de carácter experimental conocidos como “Ensayos de Regeneración Natural Dirigida o Inducida” (RND) adaptados de experiencias en otras partes del mundo. Destacaron, en este contexto, los ensayos realizados en el Caimital, Ticoporo y Caparo. Estos ensayos consis-

tieron desde operaciones silviculturales sencillas tendientes a abrir el dosel forestal para estimular la regeneración, hasta ensayos intensivos que incluyeron operaciones como apertura de fajas, preparación del suelo, quema y diseminación de semillas. A continuación se describen los métodos de diseño e implementación de los ensayos más representativos, documentados en orden de complejidad de las operaciones silvícolas aplicadas (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los ensayos de regeneración natural dirigida, establecidos en los Llanos Occidentales (Caparo, El Caimital y Ticoporo) de Venezuela.

Ensayo	PERN CAPARO	Sistema El Caimital	Fajas transversales El Caimital	Fajas transversales Caparo	Fajas transversales Ticoporo-Emallca
Año establecido	1969	1963	1968	1978	1986
Superficie (ha)	36	8 (800x100 m)	4,76 (350x136)	24 (800 x 300 m)	100 (1 x1 km)
Área efectiva (ha)	6	4		7,2	30
Tipos de bosque	SD-bn, SsSv-bn, SsSv-bj	No se diferenció	No se diferenció	SD-bn, SsSv-bn, SsSv-bj	No se diferenció
Diseño campo (apertura de fajas)	3 parcelas-fajas (12 ha) 300 x 400 m (1/tipo bosque)	15 fajas, 3 m ancho orientadas E-O	17 fajas 3 m cada 8 m orientación E-O	40 fajas (6 x 300 m)	50 fajas (6 x 1000 m)
Diseño estadístico	3 tratamientos/ tipo de bosque, sin réplicas	Un tratamiento, muestra de parcelas	Un tratamiento	Un tratamiento/ tipo de bosque	Diseño de bloques aleatorizados
Tratamientos	3 intensidades de apertura dosel luz/tipo de bosque	1 apertura del dosel + eliminación residuos y hojarasca	1 apertura del dosel + eliminación residuos y hojarasca	3 apertura dosel + preparación suelo	4 combinando encamellonado y dispersión de semillas
Fuente de semillas	Portagranos en 4 ha sin explotar	Portagranos seleccionados alrededor ensayo	Masa remanente en y cercana al ensayo	Árboles portagranos seleccionados previamente	Diseminadas manualmente (inicio lluvias) + árboles del área
Aprovechamiento masa comercial	1 año previo al establecimiento	2 años previo a establecimiento	3 años previo a establecimiento	2 años posterior a establecimiento	Previo a establecimiento
Tratamiento masa forestal	Anillamiento, envenamiento de sp no comerciales a) ≥ 10 cm dap b) ≥ 20 cm c) ≥ 30 cm	Eliminación de bejucos, soto-bosque toda área	Eliminación de vegetación solo en fajas de 3m	Eliminación de vegetación sólo en fajas de 6 m	Eliminación de vegetación fajas 6 m, dispersión semillas y encamellonado en fajas 1) no, no 2) sí, no 3) no, sí 4) sí, sí
Preparación del suelo	No	Eliminación hojarasca mediante quema	No	Apertura de fajas con tractor, surcos para drenaje, extracción de residuos y aprovechamiento	Tratamientos con y sin encamellonado
Mantenimiento	Limpias	Limpias	Limpias	Limpia año 1,2; aclareo, liberación (año 6)	Limpias año 1
Evaluación Muestreo	Transectas 200 x 2 m. centro de cada faja, no aleatorio	Parcelas 10x10m cada 25 m en las fajas. opinático	Parcelas 1 x 20 m cada 20 m en las fajas sistemático	Evaluación de todas las fajas	Parcelas 1 x 10 m
Especies de interés	13 especies comerciales	21 especies comerciales	Todas las arbóreas	20 sp. interés comercial	5 sp. diseminadas
Variables medidas	Dasométricas y ecológicas	Dasométricas y ecológicas	Dasométricas y ecológicas	Dasométricas	Dasométricas
Número de evaluaciones	3 (1971-72-73)	6 (1965-66-68-72-87-92)	5(1968-69-71-73-87)	2 (1984, 2004)	1987 (3 y 10 meses)

Finol (1969; 1976); Corredor (1971); Corpoandes (1973); Lupporelli & Sánchez (1985); ASPROFOR (1986; 1987); Moncada *et al.* (1987); Montilla & Rivas (1987); Aguirre (1990) y Contreras & Froilan (1992).

Dado que se identificó la necesidad de luz para la regeneración de las especies deseadas se establecieron ensayos consistentes en aumentar la apertura del dosel. En el estudio Parcelas de Ensayo de Regeneración Natural (PERN) realizado en la R.F. Caparo (Corpoandes 1973) se investigó si era posible estimular la regeneración de especies deseables con tratamientos sencillos, aunque relativamente fuertes en cuanto al impacto sobre el bosque. Se trabajó en tres tipos de bosque (SD-Bn y SsSV-Bn y SsSV-bj) (Corpoandes 1973; Silva 1974). Se abrió el dosel mediante el anillamiento y envenenamiento de especies arbóreas no deseadas, y se dejó como fuente semillera un área sin aprovechar del lado de procedencia del viento. Las especies de interés se agruparon en tres categorías: A (alto valor comercial): *cedro*, caoba, saqui-saqui y pardillo negro; B (mediano valor comercial): guayabón (*Terminalia guayanensis*), charo (*Brosimum alicastrum*), drago (*Pterocarpus acapulcensis*), trompillo (*Guarea trichilioides*) y laurel (*Ocotea sp.*); y C (valor potencial): chupón (*Pouteria reticulata*), perhuétamo (*Mouriri barinensis*), gateado (*Astronium graveolens*) y cedrillo (*Trichilia hirta*).

En El Caimital, en 1963, se estableció en 8,0 ha un ensayo de RND conocido como "Sistema el Caimital" donde previamente se había aprovechado la caoba, el cedro, el saqui-saqui y el samán (*Samanea saman*). Se trató uniformemente toda la superficie eliminando el sotobosque y haciendo una quema controlada para eliminar la hojarasca. La preparación del sitio y el mantenimiento de la regeneración fueron muy costosos, debido a la vigorosidad y abundancia de la vegetación no deseable (bejucos y hierbas) que invadió el área (Finol 1976). Atendiendo a los problemas observados en esta experiencia, se estableció el ensayo "Sistema de Fajas Transversales" (Finol 1969) en 4,76 ha donde previamente (en 1966) se aprovecharon los individuos comerciales (dap > 65 cm) de caoba, cedro, saqui-saqui y samán. En este ensayo, sólo se trataron fajas de 3,0 m de ancho abiertas con orientación E-O, dejando intacta la masa entre fajas. Este ensayo fue evaluado en 1971, 1973, 1987 y 1992 (Corredor 1971; Salcedo & Sánchez 1973; Moncada *et al.* 1987; Montilla & Rivas 1987; Contreras & Froilán 1992). Finol en 1978 (Lupparelli & Sánchez 1985) estableció otro ensayo RND en fajas transversales en la R.F. Caparo sobre 24 ha (Tabla 1). Se seleccionó un área "no intervenida" que abarcaba varios tipos de bosque presentes en Caparo. Este ensayo se caracterizó por: 1) preparación del terreno un año antes de la explotación comercial del área; 2) la apertura mecanizada (tractor D7) de fajas con una anchura de 6 m; 3) liberación de bejucos de los árboles semilleros; 4) apertura de surcos en

los bajíos para evitar el anegamiento; y 5) mantenimiento de una franja central de un metro de ancho para el establecimiento de la regeneración en la cual se eliminaron las malezas manualmente. En dos años se realizaron cinco limpiezas. A los dos años se extrajeron los árboles comerciales sobre el diámetro mínimo de cortabilidad (dmc) tomando la precaución de no dañar la regeneración en las fajas y extrayendo luego todo el residuo del aprovechamiento. Desde el tercer año se hizo una limpieza anual y a los seis años (1984) un aclareo en las fajas.

En 1986 se estableció un ensayo de RND en la Unidad III (EMALLCA) de la R.F. Ticoporo sobre 100 ha abarcando los tipos de bosque: selva subdecidua de bajo (SsD-bj) (45 %), selva subdecidua de banco (SsD-Bn) y SsSV-Bn (26 %) y SsSV-sBn y SsD-sBn (29 %) (Tabla 1). Se abrieron fajas de 6 m de ancho para permitir mayor entrada de luz y mantenimiento mecanizado. Se dejaron en pie todos los árboles mayores a 10 cm dap. Se estableció un diseño con cuatro tratamientos que incluyó la preparación del suelo levantando el terreno para crear montículos (camellones) a lo largo de las fajas y dispersión manual de semillas de cedro, apamate, caoba, saqui-saqui y pardillo cuya viabilidad fue comprobada en el laboratorio. Los tratamientos aplicados fueron: T1= sin encamellonado y sin dispersión de semilla (testigo), T2= sin encamellonado y con dispersión de semilla, T3= con encamellonado y sin dispersión de semilla, T4= con encamellonado y con dispersión de semilla (Duque & Mendoza 1986; ASPROFOR 1986; 1987).

Regeneración mediante plantaciones

Las investigaciones en las áreas de estudio incluyeron muchos ensayos para conocer la adaptabilidad al medio, métodos de reproducción, cultivo, crecimiento y rendimiento de las plantaciones con especies nativas (Tabla 2) y exóticas. A mediados de los años 60' se inició un programa de mejoramiento genético con saqui-saqui, que incluyó la selección de árboles superiores en los Llanos Occidentales (Caparo, Ticoporo, El Caimital, Turén y Guanare) para su propagación en Huertos Clonales Semilleros (Quijada *et al.* 1998). A partir de 1970 se establecen los primeros ensayos de progenies en El Caimital bajo diferentes condiciones de sitio (Agrobanco, Banco Negro y Banco Arenoso); en 1980, se establece otro ensayo de progenies en la R.F. Caparo y en 1984 se establecen ensayos de progenies y especies (saqui-saqui, caoba, apamate y pardillo negro). Estos ensayos se establecieron siguiendo un diseño de bloques completos al

Tabla 2. Lista de especies arbóreas nativas ensayadas por la Universidad de Los Andes en los Llanos Occidentales venezolanos.

Especie	Localidad ^{1/}	Tipo de bosque/suelo ^{2/}	Tipo de plantación ^{3/}	Tipo de ensayo ^{4/}
<i>Anacardium excelsum</i>	C (I)	1 a 3	CA, BC	E
<i>Bombax ceiba</i>	EC	2	CA, BC	C
<i>Cedrela angustifolia</i>	C, EC	1 a 4	CA, BC, ML	E, C
<i>Cedrela odorata</i>	C(I), EC, TI	1, 2	CA, BC	E, C
<i>Cordia alliodora</i>	C (I), TI	1, 4	CA, BC, ML	E, C
<i>Cordia thaisiana</i>	C	1, 4	CA, BC, ML	E, C, P
<i>Hura crepitans</i>	EC	2	BC	C
<i>Ochroma pyramidale</i>	TI	1	CA	P
<i>Pachira quinata</i>	C, EC, TI	1 a 4	CA, BC, ML	E, C, P, Pr, H
<i>Platymiscium polystachium</i>	C	1, 2	CA, BC	E
<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	C	1, 2	CA, BC	E
<i>Samanea saman</i>	C, EC, TI	1, 2	CA, BC	E
<i>Sterculia apetala</i>	EC	2	CA	C
<i>Swietenia macrophylla</i>	C, EC	1 a 3	CA, BC, ML	E, C
<i>Tabebuia rosea</i>	C (I), EC	1 a 4	CA, BC, ML	E, C, P
<i>Terminalia guyanensis</i>	C	2, 3	BC	E

1/: **C:** Caparo, **EC:** El Caimital, **TI:** Ticoporo (I) No nativa de la localidad

2/: **1:** SDbanco, **2:** SsSVsubanco, **3:** SsSV-bajo, **4:** Agrobanco

3/: **CA:** Campo Abierto, **BC:** Bajo Cubierta, **ML:** Método Limba

4/: **E:** Eliminación; **C:** Comprobación, **P:** Piloto, **Pr:** Progenies, **H:** Huerto Clonal Semillero. Corpoandes (1973).

azar, con parcelas lineales o rectangulares. Las plantaciones se han monitoreado anualmente desde su establecimiento. En Ticoporo se establecieron ensayos de especies y de progenies en el sector El Remolino de la Unidad Experimental, las cuales se perdieron a causa de las invasiones.

Quizás, la experiencia más interesante fue el Programa de Ensayo de Especies de Caparo donde se realizó un estudio sistemático conducente a conocer la adaptabilidad al medio, reproducción, crecimiento y rendimiento de plantaciones fundamentado en la metodología propuesta por la FAO (1968) que proponía incluir, en la fase inicial, el mayor número posible de especies tanto coníferas como latifoliadas procedentes del país y otras regiones tropicales y subtropicales del mundo, y simultáneamente permitiera probar el comportamiento, a una mayor escala de las especies más prometedoras

En cada ensayo se integraron los conocimientos y experiencias de las investigaciones básicas y silviculturales realizadas previamente y se abarcaron los tipos de bosques más importantes partiendo del conocimiento aportado por la estratificación ecológica y mejor aptitud, según las características de los suelos. Los tipos seleccionados fueron: SD-Bn; SsSV-sBn; y SsSV-bj. Los ensayos de especies comprendieron tres "medios" de plantación: 1) campo abierto, 2) enriquecimiento en líneas bajo cubierta y 3) plantación en líneas Método Limba-Caparo (Tabla 3).

Las modalidades a campo abierto y método Limba-Caparo son opciones de conversión en las que no se buscaba incorporar, a la cosecha, la regeneración natural de especies del bosque remanente, sino crear un bosque simplificado con fines de producción. En contraste, la plantación de enriquecimiento en líneas bajo cubierta buscaba el manejo tanto de especies plantadas como de la regeneración natural del bosque. Estas tres opciones se instrumentaron después del aprovechamiento de la masa comercial. Los ensayos a campo abierto se limitaron al tipo de bosque SD-Bn y SsSV-sBn, en agro-banco a orillas del Río Caparo en terrenos previamente sometidos a uso agrícola y pecuario. No se usó maquinaria pesada, excepto para la apertura de cortafuegos. Se utilizó el fuego controlado para reducir los desperdicios y malezas. Las plantaciones de Enriquecimiento en Líneas Bajo Cubierta se establecieron previa apertura del dosel mediante anillamiento y envenenamiento

de los individuos de especies "no-comerciales", con dap \geq 20 cm. Las plantas se establecieron en líneas separadas de 10 a 20 m. El método Limba-Caparo se desarrolló en respuesta a los problemas observados en las plantaciones de enriquecimiento, consistentes en la dificultad para dosificar la luz (formación de túneles y crecimiento excesivo de palmas). La preparación del sitio consistió en la eliminación del sotobosque y estrato arbóreo inferior, la tumba de la palma de agua y la aplicación de una quema controlada (Jerez & Vincent 1991).

Los ensayos se establecieron en tres fases: eliminación, comprobación y piloto (Tabla 3). Se adoptó un enfoque de ensayo simultáneo en las tres fases con el fin de ganar tiempo. Se emplearon diseños experimentales replicados en tiempo y espacio para obtener resultados confiables de manera sistemática. La repetición en el tiempo permitió aplicar los resultados sobre la marcha, a medida que se iban obteniendo, y así mejorar los métodos según la información que se obtenía progresivamente. Se enfatizó en la flexibilidad operativa a fin de superar una limitación inherente a este tipo de investigación, como lo es la dificultad de contar al mismo tiempo con plantas suficientes y de buena calidad de todas las especies que se desea incluir. Se monitorearon los ensayos desde su establecimiento hasta su culminación.

En las fases eliminación y comprobación se utilizaron diseños sencillos. El tamaño de parcela y número de replicaciones varió según el tipo de plantación y grado de variabilidad ambiental (Tabla 3). La escala de los ensayos dependió de los recursos disponibles. Para cada fase, medio de plantación y tipo de bosque, se seleccionaron las especies con base en la información disponible y experiencias previas.

La fase piloto es la transición entre lo que es esencialmente investigación aplicada (eliminación y comprobación) y la escala operativa de establecimiento y manejo de plantaciones. Este enfoque buscó asegurar la posibilidad de extensión de los resultados a escalas mayores o a nuevas áreas con condiciones similares.

Los ensayos de especies exigieron la investigación de aspectos concernientes a la ecología, silvicultura, industrialización y economía de las especies ensayadas y constituyeron la base para el desarrollo posterior de metodologías de monitoreo (red de parcelas permanentes y muestreo continuo) del crecimiento y productividad como respuesta a las condiciones ecológicas en que fueron establecidas y a los tratamientos silviculturales aplicados. Actualmente, se continúa con la evaluación periódica de los ensayos mediante una red de parcelas permanentes de aclareo y rendimiento (PPAR) que cubre una amplia gama de condiciones y tratamientos silviculturales, para especies como apamate, pardillo, saqui-saqui, cedro, teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) con más de 35 años de medición. Un Sistema de Información sobre Rendimiento de Plantaciones (Zerpa *et al.* 1997) almacena y procesa los datos que sirven de base para plantear un sinnúmero de hipótesis e investigaciones. Las plantaciones método Caparo cuentan con una red de parcelas de monitoreo (28 años de seguimiento) cubriendo aproximadamente 80 ha de plantaciones. El monitoreo se basa en dos metodologías: Parcelas de Muestreo Continuo (PMC) y Parcelas Permanentes de Aclareo y Rendimiento (PPAR). El PMC proporciona información dinámica sobre el rendimiento de una masa forestal en respuesta al manejo. El diseño consiste en una muestra represen-

Tabla 3. Detalles del diseño de los ensayos de especies según fase y modalidad de plantación, R.F. Caparo, Barinas, Venezuela

Detalles	Fases de ensayo		
	Eliminación	Comprobación	Piloto
Diseño	Bloques completos al azar		Bloques tipo bosque/suelo/acceso
Tamaño de la parcela	Hasta 100 m ²	0,3 ha. a 1,0 ha	> 1,0 ha
Árboles / parcela	1,0 hasta 25 árb/ parcela	Variable (hasta 500)	Variable
Forma de parcela	Lineal a rectangular	Rectangular (50 x 60 m)	Rectangular
Espaciamiento Inicial (m x m)	2x2 (CA) 10 x 2 m., 10 x 1,5; 7 x 5 m	Variable según requerimientos de cada especie	
Especies / procedencia	4 - 13	3 - 6	—
Criterios para la selección de especies	Afinidad ecológica a grandes rasgos	Afinidad ecológica y objetivo de producción	Adaptación ecológica y objetivo de producción
Replicaciones (intralocal)	10 - 17	2	—
Parámetros principales de evaluación	Sobrevivencia, crecimiento longitudinal y forma	Rendimiento, crecimiento, forma y propiedades de las maderas	Costos y rendimientos según sitio y tratamientos silviculturales
Periodo de evaluación	Hasta los 3 años	Monitoreo continuo	

Modificado de Torres (1975).

tativa de parcelas distribuidas aleatoriamente, con ciertas restricciones, lo que permite realizar inferencias válidas a toda la población muestreada, lo que a su vez permite obtener estimaciones mínimas confiables (EMC) para variables de interés. La EMC equivale al valor inferior de un intervalo de confianza para una media poblacional (considerando la *t-student* de una cola, en lugar de dos colas). Por otro lado, las PPAR ubicadas según criterios del investigador proporcionan información sobre el desarrollo y rendimiento de “rodales hipotéticos” de una especie en respuesta a diferentes tratamientos. Su desventaja es que la selección subjetiva no permite hacer inferencias sobre la población. Estos métodos de muestreo son complementarios e imprescindibles para evaluar la dinámica de masas forestales y aportar la información necesaria para manejarlas (Vincent 1988).

Los aspectos metodológicos tratados anteriormente (información ambiental y ecológica, escala espacio-temporal, disponibilidad de recursos y confiabilidad de resultados) deben considerarse en programas de restauración, ya que como todo proyecto debe tender a la obtención de metas cuantificables en términos de recuperar la función, estructura y biodiversidad del bosque, particularmente para restaurar áreas grandes con recursos limitados. En el análisis de estas experiencias nos concentraremos en los ensayos de especies nativas, por ser éstas las de mayor interés en programas de restauración ecológica.

Procesamiento y presentación de los resultados

Dado el elevado número de especies contemplado (más de 120) y variables medidas en los ensayos de regeneración natural dirigida y ensayos de plantaciones, sólo presentamos algunos resultados relevantes. Para los ensayos RND se presentan los resultados en términos de variables para grupos de especies y no para especies individuales. Se presentan dos clases de agrupamiento: 1) según gremios ecológicos y 2) según el valor comercial de las especies. La clasificación en gremios ecológicos se basa en la propuesta de Finnegan (1996) que agrupa las especies forestales según su tolerancia a la luz y ciclo de vida en: heliófitas efímeras (HE), heliófitas durables (HD), esciófitas parciales (EP) y esciófitas totales (E). La asignación de cada especie a un grupo se realizó a partir de la información existente sobre su autoecología y tablas de clasificación similares realizadas en otros estudios (p.e. Plonczak 1989; 1993). En términos de valor comercial los grupos son: 1) especies de muy alto valor (MC) que incluye las especies tradicionales, generalmente de maderas finas (caoba, cedro), mediano valor (MedC) correspondiente a especies de maderas de buena calidad, pero con un mercado restringido; especies de valor comercial potencial (PC), el cual incluye especies con potencial para la comercialización de su madera u otros productos (látex, productos medicinales) y; especies de valor ecológico (VE) que incluye especies ecológicamente importantes durante diferentes fases de la sucesión, o que son útiles para la persistencia de otras especies animales y vegetales. La asignación de especies a estos grupos se basa

en el estado de la tecnología de aprovechamiento pasado y actual en Venezuela y Latinoamérica. Esta clasificación está sesgada hacia el valor maderable de la especie, ya que la mayoría de los estudios citados se enfocaron en ese bien en particular. En el Apéndice 1 se presenta la información de interés para algunas de las más de 100 especies regeneradas en los ensayos ya sea RND o plantaciones.

La mayoría de las publicaciones acerca de los ensayos citados disponen de información sobre variables dendrométricas y ecológicas a nivel de especie y masa forestal, tales como: abundancia, frecuencia, dap, altura total, área basal, volumen, forma, fitosanidad, índices de valor de importancia e índices de diversidad. En este trabajo, sólo se mostrará información básica como abundancia total (individuos·ha⁻¹), abundancia efectiva (individuos·ha⁻¹), dap y altura. La abundancia efectiva (AE) es un indicador del logro de metas en términos de la regeneración y crecimiento de masas forestales que toma en cuenta no sólo el número de individuos, sino también su distribución espacial. Se define como la abundancia (individuos·ha⁻¹), basado en la presencia de al menos un individuo ("efectivo") en una superficie (cuadrícula o grupo) equivalente a la que ocuparía un individuo maduro de la especie de interés, es decir, $AE (\text{individuos} \cdot \text{ha}^{-1}) = (\text{NCO} / \text{NCT}) \cdot \text{NC}$ (por ha), donde NCO es el número de cuadrículas ocupadas por al menos un individuo que cumpla el criterio deseado, NCT es el número total de cuadrículas contadas en un área y NC (ha) es el número de cuadrículas por hectárea. Donde fue posible, se presenta información sobre la variabilidad y confiabilidad estadística de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos de regeneración

Las experiencias de RND con intervención mínima del bosque fueron poco halagadoras, ya que no se estableció suficiente regeneración de especies comerciales en respuesta a la apertura del dosel. En el ensayo PERN de Caparo, al tercer año de evaluación (Figura 8) se observó regeneración para todas las especies (abundancia total > 600 individuos·ha⁻¹) en las categorías con dap ≤ 10 (categorías I a IV), la regeneración de especies comerciales fue baja (~250 individuos·ha⁻¹). Al tercer año de medición había menos de 150 individuos·ha⁻¹, muy

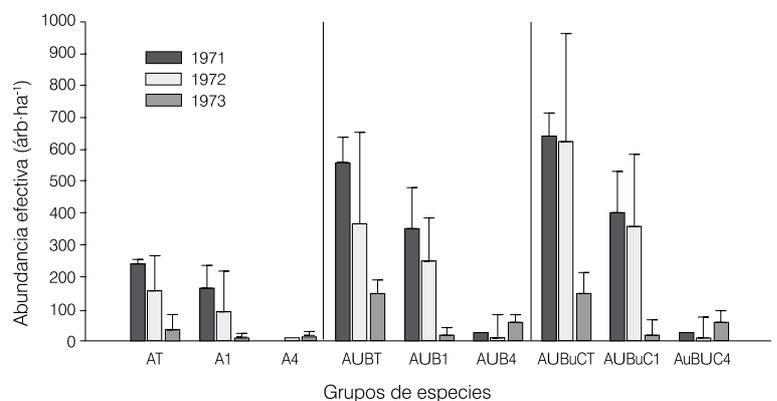


Figura 8 Cambios en la abundancia de la regeneración natural establecida (árboles·ha⁻¹ ≤ 10 cm dap) entre los 1 y 3 años de evaluación para el ensayo PERN en la reserva forestal Caparo, Barinas, Venezuela.

pocos, de los cuales pasaron a la categoría IV (~ 50 individuos·ha⁻¹).

Resultados promedio para tipos de bosque combinados. Grupos A: alto valor comercial, B: Valor comercial intermedio C: Valor potencial. A U B: se refiere a la suma de valores para los dos grupos. I: categoría de tamaño entre 0 y 1 m, IV: categoría altura ≥ 3m, y dap ≤ 10 cm; T: Todas las categorías de regeneración.

En el ensayo RND “Sistema el Caimital”

regeneraron 73 especies (14 comerciales), registrándose durante los tres primeros años más de 5.000 individuos·ha⁻¹ (plántulas), mayormente heliófitas pioneras y heliófitas durables. La abundancia de regeneración en época seca fue sensiblemente menor que en la lluviosa y afectó principalmente a las especies heliófitas, y poco o nada a las esciófitas (Figura 9). Finol (1976) sugirió que el bajo número de brinzales de especies valiosas se debió a la ausencia o escasez de árboles semilleros. Generalmente, las especies valiosas como cedro, caoba y saqui-saqui en bosques llaneros no intervenidos presentan distribución diamétrica irregular, con individuos de gran diámetro y ausencia casi total de árboles de tamaño intermedio. Otras causa pudieron ser las semillas muy livianas y pequeñas de estas especies (exceptuando mijao –*Anacardium excelsum*– y jabillo –*Hura crepitans*–) que no llegan al suelo, rápida pérdida de viabilidad (mijao y apamate), consumo por depredadores (caoba, samán y mijao); testas duras (samán); coincidencia de la época de fructificación con el periodo de sequía, cuando la capa de hojarasca es más densa y el suelo está completamente seco (a excepción del apamate, que fructifica a principios de invierno); necesidad de luz para los brinzales (plántulas) de estas especies (aunque la caoba y el apamate toleran inicialmente condiciones de semisombra). Estudios más recientes

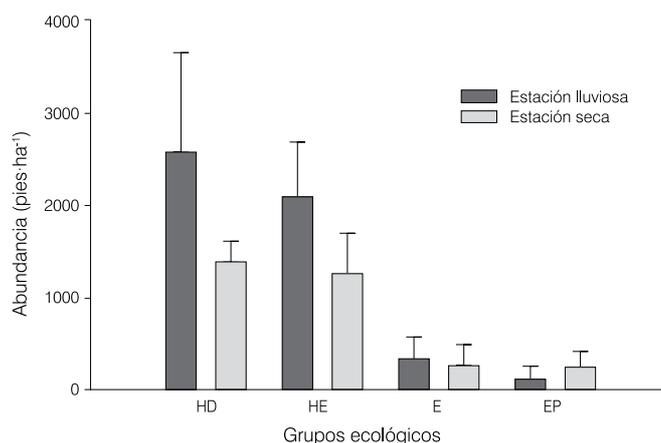


Figura 9 Variación en la abundancia total observada para la regeneración natural por gremio ecológico (HE: Heliófitas efímeras, HD: Heliófitas durables, EP: Esciófitas parciales, E: Esciófitas totales) durante la época lluviosa y la época seca en el RND Sistema El Caimital. Los resultados representan los promedios para mediciones de tres años consecutivos posteriores a la realización del ensayo. BU. El Caimital, Barinas, Venezuela.

apuntan también a patrones de floración y fructificación ocurriendo cada 3 a 8 años, necesidad de una distancia mínima entre árboles de una especie para que pueda ocurrir polinización cruzada, especialmente en especies dioicas (Montagnini & Jordan 2005), o bien que son especies que requieren de eventos catastróficos para su regeneración, tales como cambio súbito del curso de los ríos en el caso de los Llanos Occidentales.

Este ensayo tuvo cuatro evaluaciones en los años 72 (~ 9 años), 87, 89 y 92, observándose un descenso continuo de la abundancia, particularmente de las heliófitas efímeras que si bien eran abundantes a los 9 años de edad, prácticamente habían desaparecido 20 años después (Tabla 4). Los otros grupos mantuvieron proporciones relativamente estables. La desaparición de las especies efímeras, que aportaban exceso de sombra durante los primeros años, pudo propiciar el ambiente necesario para el crecimiento de las especies de los otros gremios, algo esperado en la sucesión de bosques secun-

Tabla 4. Resultados de cuatro evaluaciones de la abundancia total (árb·ha⁻¹) por gremio ecológico y grupos de valor comercial para la regeneración natural observada en parcelas de evaluación del sistema de regeneración natural inducida “El Caimital”, Barinas, Venezuela.

Edad (años)	9	24	26	29
Diámetro a la altura de pecho	≥ 5cm	≥ 10cm	≥ 10cm	≥ 10cm
Gremio Ecológico				
Heliófitas Efímeras (HE)	305,7	153,6	6,8	6,5
Heliófitas Durables (HD)	127,5	72,3	74,0	88,0
Esciófita Parcial (EP)	95,2	42,3	33,4	50,5
Esciófita (E)	83,0	39,1	45,6	48,0
Valor Comercial				
Muy Comercial (MC)	0,00	0,00	12,1	7,0
Medianamente comercial (MEDC)	132,5	54,6	41	57,3
Poco Comercial (PC)	447,9	233,6	99	112,8
Valor Ecológico (VE)	30,91	19,1	23,6	26,5
Total	611,4	307,3	159,8	193,0

A partir de estudios realizados por Corredor (1971); Moncada et al. (1987); Montilla & Rivas (1987); Aguirre (1990) y Contreras & Froilan (1992).

darios. En 1972 se censaron los árboles portagranos en el área, observándose que para algunas especies no hubo relación entre la abundancia de portagranos y la de regeneración natural. La mayor abundancia correspondió a la mora (*Maclura tinctoria*), a pesar que esta especie no presentó portagranos en el área, al igual que samán y apamate. Otras especies como araguato presentaron buena correlación (Corredor 2001). La regeneración de la mayoría de las especies, con excepción de mora, tendía a agruparse en manchas.

Corredor (1971) evaluó un bosque secundario de 15 años de edad en un área de 140 ha colindante con el bosque El Caimital deforestada en el pasado para agricultura extensiva. En 1971, se suprimió la actividad agrícola y se permitió el establecimiento espontáneo de vegetación secundaria. El autor encontró semejanzas entre este bosque, el maduro y el sometido a RND en cuanto a abundancia de árboles con dap ≥ 10 cm. Sin embargo, un perfil estructural sobre 5 ha mostró menor heterogeneidad horizontal que el bosque maduro y una estructura vertical de dos estratos, con el superior conformado por algunos árboles emergentes. Se encontraron 3.081 árboles (dap ≥ 10 cm) de 51 especies pero sólo cinco: guácimo (*Guazuma ulmifolia*), bototo (*Cochlospermum vitifolium*), jobo (*Spondias mombin*), tasajo (*Fissicalyx fendleri*) y yagrumo (*Cecropia peltata*) conformaron más del 75 % de los individuos y 40 % fueron guácimos. El conteo de brinzales (dap ≤ 10 cm) arrojó 64 especies siendo palma de agua, cedrillo, tasajo blanco, charo, gateado y charo negro (*Trophis recemosa*) las más abundantes, con 56 % de la regeneración. Algunas especies comerciales como gateado, charo amarillo y negro sumaron más de 100 individuos. ha⁻¹. Sin embargo, sólo cinco, todas pioneras, presentaron una distribución horizontal regular (guácimo, jobo, bototo, yagrumo y tasajo).

El ensayo RND en fajas transversales se evaluó durante los tres años posteriores al establecimiento. En las fajas se regeneraron 67 especies (13 comerciales), considerando los individuos con altura ≤ 2 m (Corredor 1971). Sólo se dispuso de resultados para las especies comerciales, correspondientes a los gremios

Tabla 5. Variación de la abundancia total (árb-ha) de la regeneración natural establecida (individuos con dap ≤ 10 cm y altura total ≤ 2 m) para los grupos de especies considerados entre 1 y 3 años del establecimiento. Sistema de fajas transversales, El Caimital, Barinas.

	Edad (años)		
	1	2	3
Gremio ecológico			
Esciófitas Parciales (EP)	301,1	149,4	124,2
Heliófitas Durables (HD)	473,1	1007,6	1142,9
Valor comercial			
Muy Comercial (MC)	39,7	68,9	93,3
Medianamente Comercial (MEDC)	613,2	697,9	811,6
Poco Comercial (PC)	121,2	390,1	362,2
Total	734,5	1088,0	1173,7

Corredor (1971).

de heliófitas durables y esciófitas parciales (Tabla 5). Se observó baja abundancia de individuos de las esciófitas parciales respecto a las heliófilas durables, así como disminución de la abundancia total con el tiempo.

El ensayo de RND en fajas transversales (en Caparo-1978) se alimentó de las experiencias de los ensayos iniciales. La primera evaluación se realizó a los seis y de nuevo a los 26 años. Se determinó la abundancia total, la altura y el dap de los individuos regenerados en las fajas (Tabla 6). En ambas evaluaciones se observó baja abundancia de especies pioneras, ya que fueron extraídas en las limpias. En contraste con ensayos anteriores, se observa que en 20 años la abundancia de los otros gremios aumen-

Tabla 6. Abundancia total, altura total y diámetro a la altura de pecho (dap) observados en ensayos de Regeneración Natural Dirigida en Fajas Transversales a los 6 y 26 años de edad, por gremio ecológico y grupo de valor comercial en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo, Barinas, Venezuela

	Edad (años)	Abundancia (árb-ha ⁻¹)		Altura (m)		DAP (cm)		
		6	26	6	26	6	26	
Gremio ecológico								
	<i>Especies</i>							
	Esciófitas (E)	2	11,9	40,0	6,1	14,0	4,7	19,0
	Esciófitas Parcial (EP)	2	3,3	10,0	7,0	15,0	6,1	22,7
	Heliófitas Durables (HD)	13	144,0	181,7	5,1	13,7	4,3	21,6
	Heliófitas Efímeras (HE)	3	4,4	2,1	11,4	16,3	9,1	28,9
Valor comercial								
	Muy Comercial (MC)	5	139,0	165,0	3,4	15,1	3,1	22,3
	Medianamente comercial (MEDC)	6	16,1	52,8	6,4	14,1	4,1	24,0
	Poco Comercial (PC)	5	3,5	7,5	6,0	10,8	6,3	18,9
	Valor Ecológico (VE)	4	5,1	8,6	10,1	15,1	8,1	19,0
Total general		20	163,6	233,8				

Lupparelli & Sánchez (1985); Moret (1993) datos sin publicar.

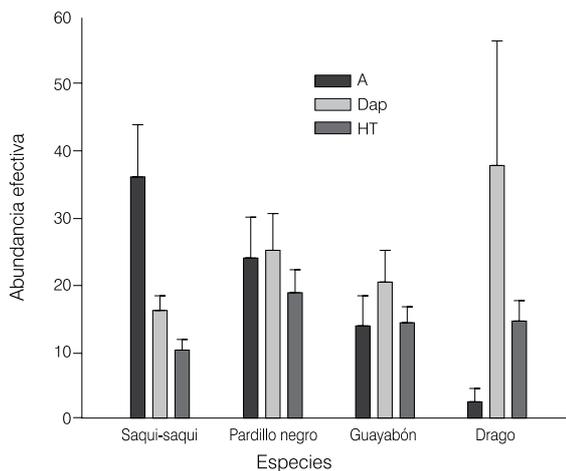


Figura 10. Abundancia efectiva (A- $\text{arb}\cdot\text{ha}^{-1}$), diámetro a la altura de pecho (dap -cm-) y altura total (Ht -m-) a la edad de 26 años para cuatro especies regeneradas naturalmente en el ensayo de fajas transversales establecido en la UE. RF. Caparo, Barinas, Venezuela.

tó, especialmente las esciófitas parciales y totales. La gran abundancia de heliófitas durables se debe a la correspondencia de este gremio con las especies comerciales favorecidas. En este ensayo, a los 26 años, el número de individuos- ha^{-1} de especies comerciales sobrepasa los 160 (cuatro especies: pardillo negro, saqui-saqui, cedro y samán) (Figura 10), suficiente para considerar este ensayo como muy rico en especies comerciales. Su desventaja fue los costos excesivamente elevados para su establecimiento y mantenimiento, pero demostró la posibilidad de inducir la regeneración y favorecer el desarrollo de especies deseadas (Figura 11).

El ensayo realizado en Emallca (R.F. Ticoporo) fue el último ensayo RND establecido (ASPROFOR 1986; 1987). Este se basó en un diseño experimental que incorporó como tratamientos la dispersión de semillas de especies de interés: saqui-saqui, caoba, cedro, pardillo negro y apamate y encamellonado para evitar el anegamiento. Una evaluación a los tres meses mostró un promedio de 50.000 brinzales. ha^{-1} . El análisis estadístico de la regeneración de las especies diseminadas demostró que a los tres meses hubo un efecto altamente significativo de los factores “tratamiento” y “especie” (Tabla 7), siendo superior el T-4 (dispersión de semillas y encamellonado) con 4,9 veces más regeneración que en los otros tres tratamientos (Figura 12). La mejor especie ($p \leq 0,05$) fue apamate, seguido por pardillo, y luego el resto en un grupo sin diferencias significativas. El análisis al mes 10 revela que desapa-



Figura 11. Árboles de pardillo negro (*Cordia thaisiana*) regenerados naturalmente (edad 30 años) en el ensayo RND Caparo 1978, UE, RF. Caparo, Barinas, Venezuela (Foto de Moret 2008).

recieron las diferencias significativas entre tratamientos y se mantuvieron las diferencias respecto a las especies, aunque sólo el apamate, fue significativamente mejor que las especies restantes, que no difirieron entre ellas. La alta sobrevivencia del apamate puede deberse a su gran capacidad para soportar el anegamiento. Lamentablemente, no existen evaluaciones posteriores para este ensayo, pues desapareció con la destrucción de los bosques de Ticoporo por la expansión de la frontera agrícola.

Los ensayos RND proporcionaron información sobre la regeneración de especies arbóreas de los Llanos Occidentales en áreas sometidas al manejo forestal y a intervenciones silviculturales. Estos mostraron que establecer las especies que originalmente conformaban los bosques maduros, por métodos de inducción de la regeneración natural, fue una labor compleja cuyos resultados, aunque prometedores, distaban mucho de la meta deseada (Finol 1976; 1971). Una desventaja fue

Tabla 7. Resultados del análisis de varianza para los tratamientos del ensayo de regeneración natural en la Unidad III, Reserva Forestal Ticoporo (EMALLCA). Estado Barinas, Venezuela.

Factor	Niveles	Evaluación	
		3 meses p-valor	10 meses p-valor
Tratamiento silvicultural	4	0,0001	0,1131
Especies diseminadas	5	<0,0001	<0,0001
TxE		0,1306	0,614
Mejor especie (Duncan $p \leq 0,05$)		1) Apamate 2) Pardillo 3) Resto	1) Apamate 2) Resto

Factor 1: Tratamientos silviculturales: 1) Sin diseminación de semillas y sin encamellonado 2) Diseminación, Sin encamellonado, 3) Sin diseminación, encamellonado 4) Diseminación, encamellonado. Factor 2: Especie: apamate, pardillo negro, saqui-saqui, cedro y samán. ASPROFOR (1986; 1987).

los elevados costos de las operaciones, tales como la apertura y preparación de fajas, para exponer el suelo mineral, condición necesaria para el establecimiento de regeneración de muchas especies; el alto costo de mantenimiento durante los primeros años; y las implicaciones prácticas y económicas del adelanto de operaciones silvícolas, dos o más años previos al aprovechamiento. Por otra parte, pese a la gran cantidad de datos obtenidos, faltó una sistematización en las metodologías de evaluación y el análisis estadístico fue muy preliminar. Hoy día existen técnicas estadísticas y facilidades de cómputo que permitirían analizar estos resultados desde diferentes ángulos. Igualmente, el análisis de los datos partiendo de objetivos distintos a la producción rentable de madera puede conducir a nuevas conclusiones.

Ensayos de plantaciones

Las experiencias con ensayos de plantaciones realizados por la ULA desde los años 60 son muy numerosas (p.e.: Corpoandes 1973; Torres 1975; Vincent 1993; 2000; Jerez & Vincent 1995; Rodríguez *et al.* 2000), pero han sido poco difundidas; especialmente a nivel internacional. En este capítulo presentamos algunos ejemplos relevantes para la planificación, ejecución y monitoreo de proyectos de plantaciones con especies nativas cualquiera sea su objetivo. Los ensayos de especies exóticas, algunos sumamente exitosos, que podrían ser de interés para rehabilitar o recuperar áreas deforestadas o muy degradadas están descritos en las referencias antes mencionadas.

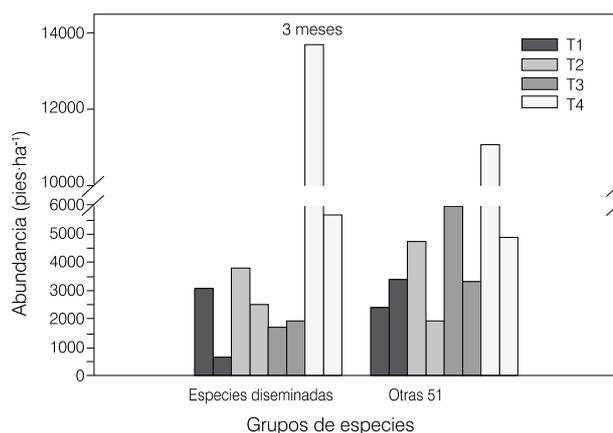


Figura 12. Variación en la abundancia (pies-ha⁻¹) de la regeneración para las especies diseminadas y para el resto de las especies (51) en el ensayo RND fajas transversales Emallca a los tres y 10 meses de establecido en la Unidad III de la Reserva Forestal Ticoporo (EMALLCA), Barinas, Venezuela.

La Tabla 8 resume el crecimiento de especies nativas ensayadas para diversas localidades, métodos de plantación y propósitos. En general, la respuesta de la mayoría de las especies fue de aceptable a excelente en cuanto a crecimiento y sobrevivencia. Los ensayos permitieron seleccionar las especies más prometedoras según su comportamiento bajo diferentes modalidades de plantación y tipos de bosque -suelos. En los ensayos de eliminación se atendió al comportamiento de las especies principalmente en términos de su altura y sobrevivencia relativas. La Tabla 9 presenta resultados del crecimiento en altura del apamate en cinco ensayos de especie - tipo de plantón modalidad bajo cubierta y fase de eliminación. El tipo de plantón se refiere a la forma de preparar la planta para llevarla al campo para su implantación. Por ejemplo, las plantas pueden llevarse completas en bolsas con tierra (cepellón) hasta plantas a raíz desnuda a las que se les poda el tallo y parte de la raíz (pseudostaca o stump).

Tabla 8. Sobrevivencia, altura y dap para ensayos de especies nativas en los ensayos ULA. Se incluyen Ensayos de Progenies (EP) y de Especies (EE) en las Reservas Forestales Caparo, Ticoporo y en el Bosque Universitario El Caimital, estado Barinas, Venezuela. Los datos muestran la media \pm la desviación estándar DE, n=variable.

Lugar	Especie ^{1/}	Tipo de Ensayo y de Plantación	Edad (Años)	Altura (m)	DAP (cm)	Sobrevivencia (%)
C ^{2/}	Apamate	EP, CA	6	6,2 \pm 2,3	10,4 \pm 2,9	63,8 \pm 14,9
C ^{3/}	Apamate	EE, ML	32	28,0	45,5	35,5
C ^{3/}	Pardillo negro	EE, ML	32	25,0	20,0	
Ti ^{2/}	Balzo	EP, CA	04	7,1 \pm 1,2	17,8 \pm 3,8	84,4 \pm 11,6
Ti ^{2/}	Caoba	EP, CA	04	3,8 \pm 0,9	11,2 \pm 2,2	58,7 \pm 19,6
C ^{2/}	Caoba	EP, CA	06	5,4 \pm 2,8	11,5 \pm 3,3	38,5 \pm 21,1
T ^{2/}	Cedro	EP, CA	04	3,5 \pm 0,7	8,5 \pm 1,8	27,5 \pm 32,2
Ti ^{2/}	Pardillo blanco	EE, CA	04	2,4 \pm 1,2	6,3 \pm 2,1	35,5 \pm 25,8
Ti ^{2/}	Samán	EE, CA	04	3,2 \pm 0,9	6,7 \pm 2,2	53,5 \pm 19,4
EC ^{2/}	Saqui-saqui	EP, AB, CA	33	22,4 \pm 3,7	37,5 \pm 9,3	84,5 \pm 17,3
EC ^{2/}	Saqui-saqui	EP, BA, CA	26	16,8 \pm 2,8	22,2 \pm 6,5	74,2 \pm 15,5
EC ^{2/}	Saqui-saqui	EP, BN, CA	26	13,6 \pm 4,6	19,3 \pm 7,3	59,6 \pm 16,6
C ^{2/}	Saqui-saqui	EP, SB, CA	23	12,2 \pm 6,4	19,5 \pm 8,6	55,2 \pm 21,5

1/: EP: Progenies, EE: Especies, CA: Campo Abierto, BC: Bajo Cubierta, ML: Método Limba, AB: Agrobanco, BN: Banco Negro, BA: Banco Arenoso, SB: SubBanco. Fuentes: 1/: Comodato ULA-MARN (1990); 2/ Melchior *et al.* 1996; Quijada *et al.* 1998; Archivo Genética Forestal (INDEFOR-ULA); 3/: Puccini 2003.

Tabla 9. Comportamiento en altura promedio (hm) del apamate (*Tabebuia rosea*) con respecto a las otras especies utilizadas en un ensayo de especies/tipo de plantón en la fase de eliminación para plantaciones bajo cubierta. Unidad Experimental Caparo, Barinas, Venezuela.

Ensayo	Tipo de bosque	Tipo de plantón	Edad (años)	hm (dm)	Posición absoluta ^{1/}	Ensayo	Posición estadística ^{2/}	Especie de mejor comportamiento	Especies de comportamiento similar ^{4/}
BE-7101	SsSV-sBn	7	3,9	24,8	14			Especie/tipo de plantón	hm ^{3/} (dm)
BE-7301	SD-Bn	1	1,8	22,5	4	BE-7101	4	09	41,1
BE-7302	SsSV-sBn	3	1,8	24,8	1	BE-7301	2	08-07	27,4
BE-7303	SsSV-bj	2	1,8	20,7	1	BE-7302	1	03	24,8
BE-7304	SsSV-sBn	2	1,8	22,5	1	BE-7303	1	02	20,7
						BE-7304	1	02	22,5

Especies/ tipo de plantón-1971	Especies/tipo de plantón-1973	Ensayo (E) / código
01. <i>Swietenia macrophylla</i>	01. <i>T. rosea</i> -stripling raíz corta	BE-7101= Bajo cubierta, eliminación, 1971, E 1.
02. <i>Samanea saman</i>	02. <i>T. rosea</i> -stripling raíz larga	BE-7301 = Bajo cubierta, eliminación, 73. E 1.
04. <i>S. saman</i> 8-258	03. <i>T. rosea</i> -stump raíz larga	BE-7302= Bajo cubierta, eliminación, 73. E 2.
05. <i>Cedrela angustifolia</i>	04. <i>C. thaisiana</i> -stump largo raíz larga	BE-7303= Bajo cubierta, eliminación, 73. E 3.
07. <i>Tabebuia rosea</i>	05. <i>C. thaisiana</i> -stripling raíz larga	BE-7304= Bajo cubierta, eliminación, 73. E 4.
08. <i>S. saman</i> 13-467	06. <i>C. thaisiana</i> -stripling raíz corta	
09. <i>Anacardium excelsum</i>	07. <i>C. alliodora</i> stump largo raíz larga	
11. <i>Pachira quinata</i>	08. <i>C. angustifolia</i> -stripling raíz larga	
12. <i>Cordia alliodora</i>	10. <i>S. macrophylla</i> -stump largo raíz larga	
13. <i>Terminalia guayanensis</i>	11. <i>P. quinata</i> -stump largo raíz larga	
14. <i>Cordia thaisiana</i>	12. <i>P. quinata</i> -stump largo raíz corta	
15. <i>Toona ciliata</i>		
16. <i>Pterocarpus acapulcensis</i>		
17. <i>Platymiscium polystachium</i>		

^{1/}Posición absoluta en términos de la altura total respecto a otras especies (1= la más alta).
^{2/}Posición estadística ocupado por la especie (1= mejor) prueba de Duncan ($p < 0,05$).
^{3/}Altura alcanzada por la especie de mejor comportamiento absoluto en el ensayo.
^{4/}Especies que tuvieron un comportamiento estadísticamente similar ($p < 0,05$) a la especie de mejor comportamiento.

Resultados a partir de Rodríguez *et al.* (2000).

Se observan los promedios por especie/tipo de plantón en cada ensayo, la posición en términos absolutos y la posición en función de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) con respecto a otras especies - tipo de plantón. Por ejemplo, en el ensayo BE7301 establecido en SsSV-sb, evaluado a los 1,8 años, el apamate fue plantado usando plantones tipo pseudoestaca de raíz larga (# 3). Su altura (24,8 m) fue la mejor en términos absolutos, sin embargo, no fue significativamente mejor ($p > 0,05$) que el apamate plantado en stripling (plantón deshojado) raíz larga (# 2) y pardillo blanco (*Cordia alliodora*) plantada en pseudoestaca largo, raíz larga (# 7).

Las especies de mejor comportamiento en cada fase fueron probadas en la siguiente fase hasta que sólo un grupo pequeño quedó para ser ensayado a escala operativa: apamate, pardillo negro, saqui-saqui y cedro. El apamate presentó excelente crecimiento, resistencia a condiciones severas de inundación y alta calidad de madera, lo que la convirtió en una alternativa para las tierras marginales con problemas de inundación predominantes en buena parte de los Llanos.

Las especies menos exitosas fueron descartadas, sin implicar esto, que no deberían probarse en el futuro. Quizás en otros sitios y con diferentes técnicas de manejo podrían cultivarse con éxito. Un caso típico es la caoba, de gran interés por su valor comercial y ecológico y por encontrarse en peligro en Venezuela ("Vulnerable" según *Libro rojo de la flora venezolana*). Esta especie se comportó pobremente en los ensayos y fue descartada en la fase de comprobación. En ese tiempo había limitaciones para su cultivo debido al ataque del de un lepidóptero barrenador (*Hypsipyla grande-lla*) para lo que no se tenía medios de control efectivos. Los árboles atacados sobrevivían, pero crecían lentamente y su forma era inaceptable para usos comerciales. Sólo recientemente se encontraron medios efectivos (*Bacilo thuringien-sis*) para controlar esta plaga, permitiendo el cultivo exitoso de la caoba.

En los ensayos piloto Limba-Caparo se estableció una red de PMC con seguimiento desde 1980 que ha producido estimaciones confiables de crecimiento inferibles a toda la población. Estas plantaciones fueron establecidas con un distanciamiento inicial de 7 m entre hileras y 2 m entre plantones dentro de las hileras (densidad ≈ 760

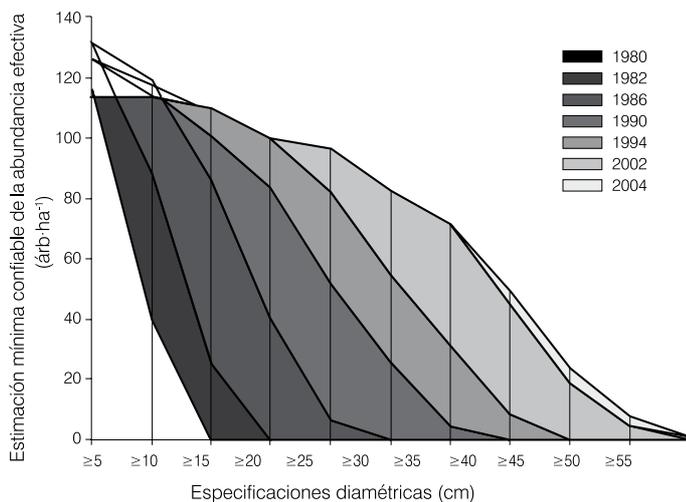


Figura 13. Dinámica de la estimación mínima confiable de la abundancia efectiva con la edad (6 a 30 años -1980 a 2004) y especificación diamétrica (cada 5 cm de dap) para una plantación método Limba-Caparo de apamate, Reserva Forestal Caparo, Barinas, Venezuela.

individuos·ha⁻¹). El indicador para evaluar el desarrollo de las plantaciones en líneas es la estimación mínima confiable (EMC) de la abundancia efectiva (AE) tomando como criterio las especificaciones diamétricas. Por ejemplo, para un bloque de cinco ha de apamate plantado en 1974 y monitoreado desde los seis años hasta los 28 años de edad es posible conocer cómo se ha comportado esta población en términos de sobrevivencia y crecimiento. A los 28 años (2002) de la plantación, el valor de la EMC para la especificación diamétrica de 35 cm es 75 árboles·ha⁻¹, es decir, se dispone como mínimo de 75 árboles efectivos·ha⁻¹ con dap ≥ 35 cm para la población de 5,0 ha con un 95 % de

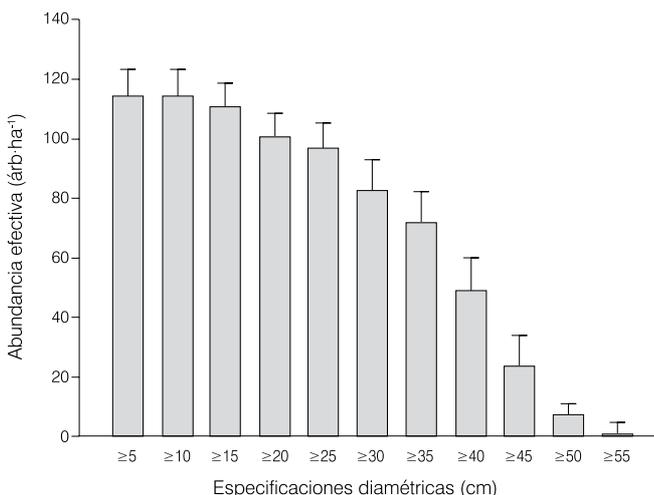


Figura 14. Media y estimación mínima confiable ($p=0,95$) de la abundancia efectiva por especificación diamétrica a los 30 años de edad para una plantación método Limba Caparo de apamate, Reserva Forestal Caparo, Barinas, Venezuela (Las líneas capitadas se refieren al promedio muestral estimado. Las barras representan la estimación mínima confiable del 95%).

confianza. Para esa misma edad se estima un mínimo de 20 árboles·ha⁻¹ con dap ≥ 45 cm (Figura 13).

La Figura 14 muestra la media y EMC de la abundancia efectiva por especificación diamétrica para el bloque 04 a los 28 años de edad. La diferencia entre ambos valores equivale al error de muestreo. Al tomarse especificaciones diamétricas más grandes, el error de muestreo crece y por tanto la EMC es menor en relación al promedio estimado. Este criterio puede usarse como indicador del desarrollo de cualquier masa forestal en términos de su crecimiento, sobrevivencia y distribución de diámetros u otra variable.

El método Limba-Caparo permitió lograr buenos crecimientos y forma de especies que requieren sombra lateral o ambiente forestal, principalmente pardillo, cedro y apamate (Jerez & Vincent 1995). Después de 34 años, el monitoreo muestra la existencia, de un bosque compuesto por individuos plantados bien desarrollados y, entre fajas, una masa secundaria e individuos remanentes del bosque original con un sotobosque denso. Las áreas plantadas con este método no han sido afectadas por las quemadas, muy frecuentes en la zona, que en cambio, sí han afectado otros tipos de vegetación cercana (Jerez & Vincent 1991).

En los sistemas de plantación bajo cubierta y Limba-Caparo tiende a permanecer y regenerarse gran cantidad de especies arbóreas. Algunos estudios evaluaron la composición florística y estructura del bosque existente entre las líneas de plantación. Gimón (1995) estudió 12 ha de saqui-saqui bajo plantación Limba-Caparo a los 21 años de edad, evaluando el estado de la plantación y de la masa forestal entre líneas, encontrando 1.147 árboles·ha⁻¹ (345 de saqui-saqui) y 26 m²·ha⁻¹ de área basal para 65 especies arbóreas. Entre las especies más abundantes se encontró el pardillo negro, guácimo, guayabón, perhuétamo, cedrillo, trompillo y drago, así como palma de agua y palma sarare que habían sido eliminadas al establecer la plantación. Jerez (1992) encontró que la masa entre hileras (árboles con dap ≥ 12,7 cm) constituía el 60 % del área basal total (12,3 m²·ha⁻¹) en plantaciones Limba-Caparo de apamate de 18 años de edad. La mayor abundancia correspondió a especies heliófitas efímeras y más de 100 árboles·ha⁻¹ correspondieron a árboles plantados. También hubo presencia significativa de especies de otros gremios ecológicos (Figura 15).

Los estudios sobre tipificación de bosques, caracterización de suelos, y la experiencia con los ensayos indican que los métodos de plantación y técnicas desarrolladas representan alternativas interesantes para la recuperación de bosques degradados y áreas deforestadas bajo la premisa

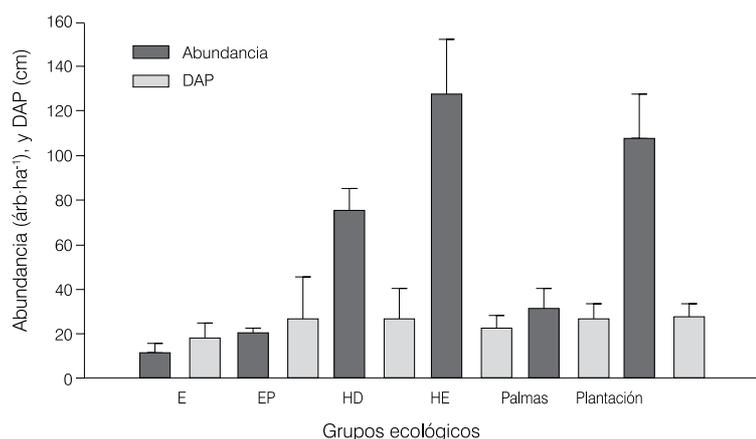


Figura 15. Abundancia total y dap promedio de la masa forestal existente por hectárea de plantación Limba Caparo de apamate de 18 años de edad. Se presentan los valores por gremio ecológico (HE: Heliófitas efímeras, HD: Heliófitas durables, EP: Esciófitas parciales, E: Esciófitas totales, además las Palmas y la masa plantada). Líneas capitadas representan la desviación estándar. UE. RF. Barinas, Venezuela.

de distribuir las especies según sus exigencias, los factores ambientales limitantes en el área y las limitaciones de recursos y logística. Los ensayos de especies produjeron información conducente al desarrollo de metodologías de evaluación, estudios dendrométricos, modelos de simulación, técnicas de aclareos, respuesta de las especies a condiciones edáficas y ecológicas con técnicas multivariantes, y estudios sobre la rentabilidad económica de las especies más importantes plasmados en numerosos informes, tesis de grado y publicaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la ULA. Como resultado, hoy día se cuenta con conocimientos sólidos para sostener programas de plantación con objetivos diversos (producción, protección, restauración, fomento de la biodiversidad, secuestro de carbono, etc.).

Únicamente, mencionamos algunos estudios y parte de sus resultados. Mucha más información dispersa existe, que al integrarse y complementarse con las nuevas teorías ecológicas y silviculturales, permitirán alcanzar mayor comprensión sobre la dinámica de estos bosques, las relaciones fauna-vegetación, la autoecología (biología reproductiva y ciclos de vida) y adaptaciones de las especies a las limitantes ambientales presentes con miras a plantear estrategias de restauración para estos bosques. Dichas estrategias deben basarse en la sistematización de las actividades que se resume en los siguientes pasos: 1) identificar y tratar con los procesos que condujeron a la degradación; 2) determinar metas realistas e indicadores de éxito; 3) desarrollar métodos para alcanzar las metas; 4) incorporar los métodos en las estrategias de manejo y planificación; y 5) monitorear la restauración y evaluar el

éxito (Hobbs & Norton 1996 citado por MacMahon 1997).

Las estrategias efectivas consideran simultáneamente todos los obstáculos posibles para la regeneración, ya que el efecto sobre un factor puede ser neutralizado por la falta de control sobre otros factores (Holl *et al.* 2000). Si estos obstáculos no son superados, es difícil lograr la restauración. En los bosques tropicales, la presencia de procesos socioeconómicos y culturales que promueven la destrucción del bosque, son el mayor obstáculo para su recuperación y permanencia. Este es el caso de los Llanos Occidentales, donde la mayoría de los bosques (Turén, Ticoporo, etc.) desaparecieron por cambio de uso de la tierra a labores agropecuarias

El proceso de restauración implica llevar el sistema a una nueva trayectoria de desarrollo que conduzca a su antiguo estado. Cuan alejado está el sistema de la trayectoria, depende de cuan perturbado quedó, la disponibilidad de biota y su variación genética, la alteración de los suelos, la hidrología y geomorfología, costos y dinero disponible y voluntad política. La restauración ecológica enfatiza en los procesos biológicos a fin de revertir la degradación, al inducir las condiciones requeridas para la sucesión ecológica. La dificultad de lograr estas metas son ilustradas por las experiencias aquí descritas con regeneración natural y artificial en bosques relativamente poco degradados, así como los resultados del monitoreo del bosque aprovechado. Estos últimos, llevaron a plantear la hipótesis de que con un manejo forestal adecuado, la estructura general y función de los bosques aprovechados no se perdería, sin embargo, ocurrirían cambios aparentemente inevitables en la composición de especies, dada la dificultad de regenerar naturalmente a gran escala, las especies comerciales extraídas. Esta dificultad puede deberse a limitantes ambientales (en parte producto de la misma dinámica del bosque) para el establecimiento y crecimiento de las especies aprovechadas y a la distribución espacial y de tamaños muy irregular, característica de dichas especies. Igualmente, podría ser que los eventos conducentes a favorecer la regeneración de esas especies en el bosque ocurran en escalas temporales relativamente largas. Por ejemplo, cambio en el curso de los ríos, sincronía de eventos reproductivos favorables en algunas especies con la aparición de condiciones ambientales óptimas para germinación y desarrollo posterior de los árboles,

etc. Los bosques intervenidos para aprovechamiento, por tanto, se desarrollarían siguiendo lo que podría considerarse una nueva trayectoria sucesional, donde las especies importantes en las dimensiones económica y ecológica serían diferentes a las existentes antes del aprovechamiento. Cabría preguntarse ¿hasta qué punto esta nueva trayectoria podría dar origen a un bosque degradado o a un bosque con composición diferente en el largo plazo, pero con estructura, función y biodiversidad semejante al original? o ¿hasta qué punto es posible definir el “estado original” de un bosque que previo a la perturbación, pudiera haber estado en una etapa sucesional alejada del equilibrio dinámico? Estas preguntas se están intentando contestar a través de la revisión e integración en modelos de simulación de los resultados de estudios ya realizados en bosques prístinos e intervenidos existentes en Caparo y El Caimital.

Por otra parte, el costo de restaurar áreas mediante regeneración inducida o plantaciones sólo parece viable económicamente a pequeña o mediana escala, lo que llevó a plantear la necesidad de ordenar las áreas boscosas aprovechadas en aquéllas que por sus buenas condiciones para el crecimiento de especies comerciales podrían tratarse de manera intensiva mediante RND y plantaciones, mientras que el resto del área aprovechada se dejaría evolucionar siguiendo una nueva trayectoria (estrategia de manejo activo y pasivo) (Vincent 1993). Una de las mayores fallas de la experiencia forestal en los Llanos fue el fracaso en monitorear adecuadamente los bosques aprovechados, determinar el verdadero impacto del aprovechamiento y destacar el gran valor que tenían desde el punto de vista ecológico y de conservación de flora y fauna incluso aunque su valor económico hubiera sido reducido.

Otro aspecto importante son los requerimientos de las especies, las cuales pueden presentar variaciones en el crecimiento según tipo de suelo, clima, grado de degradación y vegetación existente. Esto hace recomendable la realización de proyectos a pequeña escala (Holl *et al.* 2000) que permitan evaluar y distribuir mejor los esfuerzos necesarios para lograr una restauración más eficiente a escalas mayores (Meli 2003). Por otro lado, es necesario el desarrollo de investigaciones que enfatizen en el estudio integral de especies en peligro de fuerte erosión genética e incluso extinción.

Para restaurar efectivamente áreas degradadas, debe ser posible definir los atributos de un hábitat no degradado. Los indicadores empleados en las investigaciones presentadas estaban orientados a determinar si los tratamien-

tos permitirían la sostenibilidad de la producción de maderas valiosas. Estos indicadores consistieron en variables tales como abundancia árboles-ha⁻¹, dap, altura, área basal y volumen comercial, definidos cuantitativamente según los objetivos y las expectativas de productividad que se tenían por tipo de bosque y método de regeneración. Se enfatizó en interpretar los indicadores de producción y financieros, pero relativamente poco en los indicadores de los efectos ecológicos de los tratamientos aplicados.

En proyectos de restauración ecológica, primero debe determinarse cual era la “integridad biológica” normal del sistema previo a la degradación y definir indicadores que permitan medir el grado de desviación de dicho estado y luego el progreso hacia el mismo. La integridad biológica es la habilidad para soportar y mantener un sistema balanceado, integrado y adaptativo con todos los elementos (genes, especies y ensamblajes) y procesos (mutación, demografía, interacciones bióticas, dinámica de energía y nutrientes) a nivel de metapoblación (población de poblaciones interconectadas) en el hábitat natural de una región. Los índices de integridad biológica para bosques incluyen indicadores de biodiversidad, de estructura, de función, especies indicadoras de estrés, abundancias relativas, presencia de especies exóticas, incidencia de hibridización, enfermedades, etc. (Karr 1996).

En este estudio hemos sintetizado los resultados de algunas investigaciones sobre regeneración inducida y plantaciones forestales en los Llanos de Venezuela. El programa de ensayos de especies en plantaciones para Caparo ejemplifica la incorporación de los resultados de las investigaciones en los planes operativos a medida que éstos se van produciendo (“manejo experimental”) lo que permitió generar conocimiento y técnicas para manejar todo lo referente al ciclo reproductivo y de crecimiento de varias especies nativas y exóticas. Se determinó cuáles especies podían adaptarse fácilmente a campo abierto (saqui-saqui), cuáles requerían de un ambiente forestal (pardillo negro, cedro). Asimismo, la adaptabilidad a suelos con diferentes condiciones físicas y químicas (por ejemplo, la resistencia del apamate a condiciones de inundación severa, el requerimiento de suelos fértiles por especies exóticas como la teca).

Muchos procedimientos de manejo están diseñados para acortar la secuencia sucesional natural, acelerar la sucesión (Moore 1993), o mantener la comunidad en un estado sucesional con atributos deseables. Entre estos métodos están el establecimiento de plantaciones de enriquecimiento, las operaciones de liberación y el replante de

regeneración natural. En teoría, el uso consciente de principios de restauración basados en procesos de sucesión natural debería ser más económico que tratar de plantar vegetación usando métodos basados en técnicas agrícolas tradicionales (MacMahon 1997). Sin embargo, las conclusiones alcanzadas en las investigaciones en los Llanos Occidentales indican que esto puede no ser siempre cierto. En este trabajo se mostraron ensayos exitosos para lograr la regeneración natural espontánea, sin embargo, se encontró que procedimientos tales como buscar mejores condiciones de luz o dispersar las semillas resultaron altamente costosos y muchas veces con un efecto notorio sólo en el muy corto plazo y en casos muy particulares. En el caso de especies en peligro de extinción, la idea de dispersar naturalmente semillas que pueden ser muy difíciles de obtener no parece justificada. Igualmente, utilizar plantaciones de enriquecimiento para bosques "degradados" sin tener en cuenta los requerimientos de las especies a introducir, puede ser más dañino ecológicamente que dejar que el bosque se regenere por sí solo.

Se ha planteado el uso de especies pioneras arbóreas para recuperar áreas degradadas. Las experiencias en áreas con suelos degradados no parecen prometedoras y el uso inicial de ciertas especies herbáceas y arbustivas podría ser más apropiado en muchos casos. La experiencia en los Llanos Occidentales indica que a pesar de la agresividad de estas especies y rápido crecimiento, las mismas no se regeneran bien en áreas donde se han establecido pastizales o que están alejadas de masas boscosas, o bien requieren de eventos poco usuales para lograr la germinación y sobrevivencia. Algunos investigadores han propuesto el aprovechamiento de lo que se llama efecto de borde (Peña *et al.* 2005) consistente en concentrar las actividades de restauración en el borde de los bosques remanentes aprovechando las condiciones microambientales del borde y la cercanía de árboles que podrían aportar propágulos, permitiendo ampliar gradualmente la extensión del bosque

remanente. Esta opción podría ser muy atractiva para los Llanos Occidentales, debido a la persistencia de numerosos bosques de galería y manchas de bosque degradado y rastrojos que podrían hacer el papel de corredores y núcleos para promover el reinicio de la sucesión al actuar como corredores. El propósito del Estado Venezolano de mantener la figura de Reserva Forestal para áreas como Caparo y Ticoporo, aunque casi todo el bosque haya desaparecido, podría abrir un campo para proyectos de restauración en estas áreas, si se logra su acogida por parte de los actores políticos y sociales.

Finalmente, destacamos la importancia de plantearse metas sensatas basadas en conocimientos ecológicos, económicos, sociales y técnicos sobre el sistema a restaurar. Particular cuidado debe tenerse en la extrapolación, sin suficiente análisis, de experiencias exitosas en otras localidades con condiciones aparentemente similares a las nuestras, pero que podrían realmente ser muy distintas. Asimismo, el usar técnicas estadísticas apropiadas, no sólo para el establecimiento de ensayos con fines de investigación, sino también para realizar actividades a escala operativa. A nivel de ensayo, se requiere un buen diseño experimental e identificar las variables a medir en términos de la relación entre la información aportada y el costo de obtenerla. En el caso de proyectos a escala operativa, el monitoreo continuo basado en un diseño de muestreo apropiado puede producir información muy valiosa para conocer si las metas planificadas se alcanzarán o aplicar con antelación las medidas correctivas necesarias para alcanzarlas. Es importante la utilización de técnicas de manejo y procesamiento de datos y técnicas modernas de análisis de información (Sistemas de Información Geográfica, análisis multivariado, estadística espacial, simulación, etc.). Esto permitirá no sólo determinar el éxito de un proyecto en particular, sino también demostrar hipótesis, desarrollar teorías y mejorar técnicas de campo que permitan guiar el éxito en proyectos de restauración similares

CONCLUSIONES

La restauración ecológica de bosques tropicales degradados debe basarse en una estrategia sistemática consistente en 1) Identificar y tratar los procesos que condujeron a la degradación; 2) Determinar metas realistas e indicadoras de éxito; 3) Desarrollar métodos para alcanzar las metas; 4) Incorporar los métodos en las es-

trategias de manejo y planificación; y 5) Monitorear la restauración y evaluar el éxito

En este estudio se han sintetizado los resultados de algunas investigaciones sobre regeneración inducida del bosque natural y plantaciones forestales en los Llanos occidentales de Venezuela realizadas por la Univer-

sidad de Los Andes por más de 40 años, lo que permite disponer de bases sólidas para la recuperación de áreas intervenidas con fines de aprovechamiento forestal y de abundante información sobre el comportamiento ecológico y ciclo de vida de las especies forestales de estos bosques.

El programa de ensayos de especies en plantaciones para Caparo ejemplifica la incorporación de los resultados de las investigaciones en los planes operativos a medida que éstos se van produciendo ("manejo experimental") lo que permitió generar conocimiento y técnicas para manejar todo lo referente al ciclo reproductivo y de crecimiento de varias especies nativas y exóticas como por ejemplo la teca (*Tectona grandis* L.) entre las exóticas y el saqui-saqui, el apamate y el cedro entre las nativas.

En cuanto a los bosques remanentes sometidos a presiones antrópicas que no incluyan su eliminación con fines agropecuarios, los estudios adelantados demuestran que los mecanismos de autoregeneración son suficientes para mantener la cobertura boscosa, si bien con cambios parciales y temporales en su composición florística y estructura. Las actividades de restauración del bosque original sometido a aprovechamiento forestal son ecológicamente viables mediante la instrumentación de métodos silviculturales de inducción y mantenimiento de la regeneración natural, aunque su factibilidad económica y pertinencia social sean discutibles.

Es posible pensar en actividades de restauración en el borde de los bosques remanentes aprovechando las condiciones microambientales del borde y la cercanía de árboles que podrían aportar propágulos, permitiendo ampliar gradualmente la extensión del bosque remanente. Esta opción podría ser muy atractiva para los Llanos Occidentales, debido a la persistencia de numerosos bosques de galería y manchas de bosque degradado y rastrojos que podrían hacer el papel de corredores y núcleos para promover el reinicio de la sucesión.

A pesar que el bosque natural prácticamente ha desaparecido en los Llanos occidentales de Venezuela, aún quedan relictos importantes, especialmente en la Reserva Forestal Caparo. Esto induce a reforzar la necesidad y el propósito del Estado venezolano en mantener las superficies de las reservas forestales de esa región bajo dicha figura jurídica, con el objeto de rescatar las funciones para las cuales fueron creadas. Así, se abre campo para la formulación de proyectos

de restauración de áreas degradadas en aquellos sitios donde aún sea ecológicamente posible o de restitución de la cobertura boscosa mediante repoblación forestal, siempre y cuando se logre la aceptación plena de los actores políticos y sociales involucrados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer a los profesores José Rolando Corredor Trejo y Hermán Finol Urdaneta, de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, por su labor pionera y valiosos esfuerzos en el desarrollo de las investigaciones sobre la inducción de la regeneración natural en los bosques de los Llanos Occidentales de Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre E. 1990. *Evaluación de un lote de 8 ha obtenido por aplicación del método tropical Shelterwood modificado en el bosque experimental Caimital, Distrito Obispos del estado Barinas*. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Forestales-ULA. Mérida, Venezuela.
- ASPROFOR. 1986. *Primera evaluación del ensayo de regeneración natural inducida 1986 de EMALLCA-ULA*. Mérida, Venezuela.
- ASPROFOR. 1987. *II evaluación del ensayo de regeneración natural dirigida*. EMALLCA. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Beard J. 1948. Los climas de vegetación en la América tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín-Colombia*. Vol. VI n.23.
- Bernal J. 1967. Estudio ecológico del bosque Caimital. *Revista Forestal Venezolana* 5: 47-82.
- Bradshaw AD. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20: 1-17.
- Bradshaw AD. 1987. Restoration: an acid test for ecology. En: Jordan MG & JD Aber, eds. *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 23-29.
- Castillo J. 1966. *Estudio de suelos. Bosque experimental ULA-Caimital*. Distrito Obispos, estado Barinas. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela. Mimeografiado
- Comodato-ULA-MARN. 1990. *Actividades realizadas en las unidades experimentales de Caparo y Ticoporo*. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Contreras D & C Froilán. 1992. *Diagnóstico silvicultural para la aplicación de cortas intermedias (cortas de mejora), en un lote boscoso de 8 hectáreas en "Caimital" Distrito Obispo, estado Barinas*. Trabajo de grado. Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, ULA, Mérida, Venezuela.
- Corpoandes. 1973. *Programa de investigación forestal con fines de manejo en la Unidad Uno de la Reserva Forestal de Caparo*. Publicaciones ULA-Corpoandes. N° 8, Mérida.

- Corredor JR. 1971. *El establecimiento de la regeneración natural de especies arbóreas en fajas previamente acondicionadas del bosque experimental Caimital (Barrancas, Edo. Barinas)*. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Corredor JR. 2001. *Silvicultura tropical*. Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida, Venezuela.
- Díaz C. 1988. *Caracterización y análisis comparativo de tres ecosistemas forestales en la reserva forestal de Ticoporo. Edo. Barinas*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela
- Duque G & M Mendoza. 1986. *Ensayo de regeneración natural inducida con 4 variantes, en la Unidad II (EMALLCA) de la Reserva de Ticoporo, estado Barinas*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Ewell J, A Madriz & J Tosi. 1969. *Zonas de vida de Venezuela*. Memoria explicativa del mapa ecológico. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, Venezuela.
- FAO. 1968. *Guía para ensayos de especies forestales en América tropical*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Finnegan B. 1996. Pattern and process in Neotropical secondary forests: The first 100 years of succession. *Trends in ecology and evolution* 11: 119-124.
- Finol H. 1964. Estudio silvicultural de algunas especies comerciales en el bosque universitario "El Caimital". Estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana* 7: 17-63.
- Finol H. 1969. Posibilidades de manejo silvicultural para las reservas forestales de la región occidental de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 17: 81-107.
- Finol H. 1971. Berücksichtigung neuer Parameter in der Strukturanalyse von tropischen Urwäldern. *Medelingen Fakulteit Landbouwwetenschappen* 36: 701-709.
- Finol H. 1976. Métodos de regeneración natural de algunos tipos de bosques venezolanos. *Revista Forestal Venezolana* 26: 17-44.
- Fölster H & W Franco. 1976. *Variaciones en la dinámica del agua y suelo, y su influencia sobre la vegetación boscosa y su periodicidad*. CDCHT-ULA. Mérida, Venezuela.
- Fölster H. & W Franco 1978. *Fenología de especies forestales en Caparo, su relación con el clima y el suelo, su importancia para el manejo del bosque*. CDCHT-ULA. Proyecto FO-3676. Informe Final, Parte I.
- Franco W & H Fölster. 1982. *Estudio de los suelos de la Reserva Forestal de Caparo, estado Barinas, con énfasis en las propiedades físicas y régimen hídrico de los mismos*. VIII Congreso venezolano de ciencias del suelo. San Cristóbal, Táchira. Venezuela.
- Franco W. 1979a. Die wasserdynamik einiger waldstandorte der west-LLanos venezuelans und ihre beziehung zur saisonalität des laubfalls. *Göttingen Bodenkundlichen Bericht* 61: 1-201.
- Franco W. 1979b. *Producción de hojarasca en varios tipos de bosque en Caparo, su ritmicidad durante un año, su composición química*. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Franco W. 1992. *Estudio y levantamiento de sitios con fines de manejo forestal en la Unidad Uno de la Reserva Forestal Caparo, estado Barinas*. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Gimón M. 1995. *Muestreo de plantación de saquisaqui (método Caparo) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Caparo- Venezuela*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-ULA. Mérida, Venezuela.
- Hardwick K, J Healey, S Elliott & D Blakesley. 2004. Research needs for restoring seasonal tropical forest in Thailand: accelerated natural regeneration. *New Forests* 27: 285-302.
- Hase H & H Fölster. 1982. Bioelement inventory of a tropical (semi) evergreen seasonal forest on eutrophic soils, Western Llanos, Venezuela. *Acta Oecologica* 3: 331-346.
- Hase H. 1979. *Disponibilidad de elementos nutritivos en los suelos forestales de banco arenoso de la Reserva Forestal Caparo*. CDCHT-ULA, Mérida, Venezuela.
- Hernández C & R Guevara. 1994. *Especies vegetales de la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo*. Cuaderno Comodato ULA-MARNR N°23.
- Hetsch W & H Fölster. 1979. *Observaciones al mapeo del sitio y a la tipificación del bosque de la Reserva Forestal Caparo*. CDCHT-ULA. Mérida, Venezuela.
- Holl KL, M Lin & E Samuels. 2000. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology* 8: 339-349.
- Janzen DH. 2002. Tropical dry forest. En: Perrow MR & AJ Davy, eds. *Handbook of Ecological Restoration. Volume 2, Restoration in Practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 559-583.
- Jerez M & L Vincent. 1991. *Muestreo continuo del rendimiento en plantaciones en líneas "Método Caparo", en la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela)*. Cuaderno Comodato. ULA- MARNR: N° 18.
- Jerez M & L Vincent. 1995. Plantaciones en líneas Método Caparo de 20 años de edad en la Reserva Forestal Caparo. *Revista Forestal Venezolana* 39: 25-39
- Jerez M. 1992. *Un modelo de simulación del crecimiento para plantaciones en líneas "Método Caparo"*. Tesis de grado. FACES-ULA. Mérida, Venezuela.
- Kammesheidt L, A Torres & M Plonczak. 2001. History of logging and silvicultural treatments in the western Venezuela plain forests and the prospect for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 148: 1-20.
- Kammesheidt L. 1996. Auswirkungen selektiver Holznutzungen auf die Baumartendiversität eines regengrünen Feuchtwaldes in Venezuela. *Forstarchiv* 67: 14-24.
- Karr J. 1996. Ecological integrity and ecological health are not same. En: Schulze PC, ed. *Engineering within Ecological Constraints*. National Academy Press, Washington, D.C., 97-109
- Kochaniewicz G & M Plonczak. 2004. *Variaciones de la composición florística en subtipos de bosque de la "Selva de Bajío" en la Reserva Forestal Caparo, llanos occidentales de Venezuela*. *Revista Forestal Venezolana* 48: 55-67.

- Lamprecht H. 1964. Ensayo sobre la estructura florística de la parte sur-oriental del Bosque Universitario "El Caimital"-estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana* 7: 77-119.
- Lamprecht H. 1976. Wünschbarkeit, Möglichkeiten und Probleme der Naturverjüngung in tropischen Wäldern. Schweiz. *Zeitschrift für Forstwesen* 127: 91-97.
- Lupparelli N & G Sánchez. 1985. *Aplicación de cortas intermedias a la regeneración natural dirigida en fajas transversales, en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo, Barinas, Venezuela*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- MacMahon J. 1997. Ecological Restoration. En: Meffe GK & CR Carroll, eds. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, INC. Publishers, Massachusetts, 479-511.
- Melchior RGH, M Quijada, V Garay V & L Valera 1996. Ensayo de progenies de Saqui-Saqui *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand sin aclareos a la edad aproximada de 26 años. *Silvae Genética* 45, 5-6:301-308.
- Meli P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28: 581-589.
- Moncada G, L Paz & D Silva. 1987. *Estudios silviculturales en un área del Bosque Caimital sometida hace 23 años a tratamientos de tumba y quema del sotobosque*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Montagnini F & C Jordan. 2005. *Tropical forest ecology. The basis for conservation and management*. Heidelberg, Germany, Springer.
- Montilla M & M Rivas. 1987. *Estudio sobre la regeneración natural del bosque secundario tropófito macrotérmico (Caimital Edo. Barinas)*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Moore P. 1993. A helping hand in succession. *Nature* 364: 14.
- Peña J, A Monroy, F Alvarez & M Orozco. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 8: 91-98.
- Petit PM. 1969. Resultados preliminares de los estudios sobre la regeneración natural espontánea en el bosque "El Caimital". *Revista Forestal Venezolana* 12: 9-21.
- Petit PM. 1973. Estudio fenológico en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo. *Acta Científica Venezolana* 24 supl N° 1.
- Plonczak M. 1989. *Struktur und Entwicklungsdynamik eines Naturwaldes unter Konzessionsbewirtschaftung in den westlichen Llanos Venezuelas. Göttinger Beiträge zur Land und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft 43*. Göttingen, Alemania.
- Plonczak M. 1993. Proposición de un esquema de agrupación de especies maderables a los fines de la planificación silvicultural. *Revista Forestal Venezolana*. 27: 117-124.
- Puccini J. 2003. *Evaluación de plantaciones en Líneas "Método Caparo" a los 28 años de edad en el área experimental Caparo, estado Barinas, Venezuela*. Tesis de grado, Escuela de Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-ULA. Mérida, Venezuela.
- Pulido H. 1968. *Algunos tipos de vegetación en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo*. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Quijada M, V Garay & L Valera. 1998. Resultados de un ensayo de progenies de Saqui Saqui (*Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand) a los quince años de edad, establecido en la Unidad Experimental Reserva Forestal Caparo, Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 2: 167-185.
- Rodríguez L, T Zambrano, L Vincent, M Jerez & M Plonczak. 2000. *Investigación silvicultural con fines de manejo del bosque tropical alto en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo*. Consejo de Publicaciones ULA, Mérida, Venezuela.
- Salcedo P & M Sánchez. 1973. *Recolección de datos. Bosque San Eusebio Edo. Mérida y Bosque El Caimital Edo. Barinas*. Tesis de grado, Escuela de Capacitación Forestal Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- SERI. Science & policy working group. 2004. The SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International. Tucson.
- Silva J. 1974. *Investigaciones sobre la regeneración natural en varios tipos de bosque bajo diferentes tratamientos en la Reserva Forestal Caparo*. Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela. Mimeografiado.
- Torres A. 1975. *Ensayos de especies latifoliadas en la Unidad Uno de la Reserva Forestal de Caparo, estado Barinas, Venezuela*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales-ULA. Mérida, Venezuela.
- ULA-Corpoandes. 1974. *Programa de investigación con fines de manejo de la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo*. Informe N° 4. Centro Estudios Forestales de Postgrado-Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- ULA-Corpoandes. 1975. *Programa de investigación para el manejo de la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo. Informe N° 5, actividades del quinto año de labores*. Centro Estudios Forestales de Postgrado-Facultad de Ciencias Forestales -ULA Mérida, Venezuela.
- Vincent L. 1970. *Estudio sobre la tipificación del bosque con fines de manejo en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo*. Centro Estudios Forestales de Postgrado-Facultad de Ciencias Forestales -ULA. Mérida, Venezuela.
- Vincent L. 1988. Orientación del manejo silvicultural del bosque tropical alto. *Revista Forestal Latinoamericana* 4:61-71.
- Vincent L. 1993. *Métodos cuantitativos de planificación silvicultural (Tomo I)*. Mérida, Venezuela. Consejo de Publicaciones ULA
- Vincent L. 2000. *Métodos cuantitativos de planificación silvicultural (Tomo II)*. Mérida, Venezuela. Consejo de Publicaciones ULA
- Zerpa F, L Vincent & M Jerez. 1997. *Sistema de información sobre rendimiento de plantaciones SINFOPLAN versión 3.0*. Centro Estudios Forestales de Postgrado-Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-ULA. Mérida, Venezuela.

Apéndice 1. Identificación y características (gremios ecológicos, valor comercial y fenología) de algunas especies arbóreas llaneras regeneradas en los ensayos.

Nombre vulgar	Nombre científico	FAMILIA	GE ^{1/}	VC ^{2/}	Cd ^{3/}	Floración	Fructificación	CS ^{4/}
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	CAESALPINIACEAE	EP	Medc	SV	Nov-Ene	May-Jun	G:P
Anime	<i>Protium tenuifolium</i>	BURSERACEAE	EP	Medc				P:L
Apamate	<i>Tabebuia rosea</i>	BIGNONIACEAE	EP	Medc	D	Dic-Mar	Abr-Jun	M:L
Araguato	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	RUBIACEAE	HD	VE				
Balso	<i>Ochroma piramydale</i>	BOMBACACEAE	HE	PC	SD	Feb-Abr	May-Jun	P:L
Bototo	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	COCHLOSPERMACEAE	HE	VE	SD	Ene-Feb	Feb-Abr	P:L
Bucare	<i>Erythrina fusca</i>	PAPILIONACEAE	HD	VE	SV	Ene-Mar	Abr-Jun	G:M
Camoruco	<i>Sterculia apetala</i>	STERCULIACEAE	EP	PC	SD	Dic-Ene	Feb-Abr	G:M
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	MELIACEAE	HD	MC	SD	Abr-May	Nov-Ene	G:L
Caruto	<i>Genipa americana</i>	RUBIACEAE	E	VE	SD	Ene-Mar	Abr-May	M:M
Cedrilla	<i>Trichilia hirta</i>	MELIACEAE	EP	Medc	D	Ene-Mar	Abr-Jun	M:L
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE	HD	MC	D	Sep-Dic	Ene-Mar	M:L
Cedro cabuyo	<i>Cedrela fissilis</i>	MELIACEAE	HD	MC	D	Nov-Ene	Ene-Abr	M:L
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	BOMBACACEAE	HD	PC	D	Dic-Mar	Mar-May	M:L
Charo amarillo	<i>Brosimum aliscastrum</i>	MORACEAE	EP	Medc	SV	Dic-Mar	Mar-May	M:P
Charo negro	<i>Trophis recemosa</i>	MORACEAE	HD	VE	SV	Feb-Mar	May-Jul	M:P
Chupón	<i>Pouteria reticulata</i>	SAPOTACEAE	EP	PC	SV	Sep-Nov	Dic-Jul	G:P
Cubarro	<i>Bactris major</i>	ARECACEAE	P	VE	SV			G:P
Drago	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>	PAPILIONACEAE	HD	Medc	SD	Nov-Ene	Feb-Abr	G:M
Gateado	<i>Astronium graveolens</i>	ANACARDIACEAE	HD	Medc	SV	Ene-Feb	Feb-Abr	P:L
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	STERCULIACEAE	HD	VE	SV	Nov-Ene	Ene-Mar	P:L
Guamo	<i>Inga spp.</i>	MIMOSACEAE	HD	VE	SV			V:P
Guayabón	<i>Terminalia guyanensis</i>	COMBRETACEAE	HD	Medc	SD	Sep-Nov	Dic-Abr	G:M
Jabillo	<i>Hura crepitans</i>	EUPHORBIACEAE	HD	PC	SV	Nov-Ene	Mar-Jun	G:P
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	ANACARDIACEAE	HD	VE	D	Nov-Ene	Mar-Abr	G:P
Laurel	<i>Ocotea caudata</i>	LAURACEAE	EP	PC	SD	Ene-Mar	Abr-May	P:L
Lechero	<i>Sapium aubletianum</i>	EUPHORBIACEAE	HE	VE	SV			G:P
Mijao	<i>Anacardium excelsum</i>	ANACARDIACEAE	HD	Medc	SD	Nov-Ene	Mar-May	G:P
Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	MORACEAE	EP	Medc	SV			P:L
Palo de agua	<i>Symmeria paniculata</i>	POLYGONACEAE	HD	Medc	D			M:L
Palo María	<i>Triplaris caracasana</i>	POLYGONACEAE	HD	VE	D			M:L
Pardillo blanco	<i>Cordia alliodora</i>	BORAGINACEAE	HD	MC	SV	Ene-Mar	Mar-Abr	P:L
Pardillo negro	<i>Cordia thaisiana</i>	BORAGINACEAE	HD	MC	SV	Ene-Mar	Mar-Abr	P:L
Perhuetamo	<i>Mouriri barinensis</i>	MELASTOMATAACEAE	EP	PC	SV			G:P
Roble	<i>Platymiscium pinnatum</i>	PAPILIONACEAE	ET	Medc	SV	Nov-Ene	Feb-Abr	G:L
Samán	<i>Samanea saman</i>	MIMOSACEAE	HD	MC	SV			
Saqui-saqui	<i>Pachira quinata</i>	BOMBACACEAE	HD	MC	D	Dic-Mar	Ene-Abr	P:L
Tasajo	<i>Fissicalix fendleri</i>	PAPILIONACEAE	HD	VE	SD	Feb-Mar	Abr-May	G:M
Trompillo	<i>Guarea trichilioides</i>	MELIACEAE	EP	Medc	SD	Nov-Ene	Mar-May	M:M
Urero macho	<i>Pithecellobium guachapele</i>	MIMOSACEAE	HD	PC	SD	Feb-Mar	Mar-Abr	M:M
Yagrumo	<i>Cecropia peltata</i>	MORACEAE	HE	VE	SD			P:L
Yátago	<i>Trichanthera gigantea</i>	ACANTHACEAE	E	VE				
Zorrocloco	<i>Crataeva tapia</i>	CAPPARIDACEAE	E	VE		Ene-Mar	Feb-Abr	

1/Gremio Ecológico (Finnegan 1996): HD: Heliófito Duradera, HE: Heliófito Efímera, EP: Esciófito Parcial; 2/ VC: Valor Comercial: VE: Valor Ecológico, MC: Muy Comercial, PC: Potencialmente Comercial; 3/ Cd: Caducifolia: D: Decidua, SD: Semidecidua, SV: Siempre Verde; 4/ Característica de semillas: Tamaño: Pequeña (P); Mediano (M); Grande (G): Peso: Liviana (L); Mediano (M); Pesada (P)