

**Caracterización morfológica de plántulas de angiospermas en bosques
altoandinos del altiplano del oriente Antioqueño**

David Alejandro Sánchez Gómez

Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo

Asesor

Mario Alberto Quijano Abril

PhD. Biología

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Instituto de Biología
El Carmen de Viboral

2020

Tabla de contenido

Lista de tablas.....	4
Lista de figuras.....	5
Resumen	10
1. Introducción	11
2. Objetivos.....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. Marco conceptual y estado del arte	14
3.1. El concepto de plántula.....	14
3.2. Estructura de la plántula	15
3.3. Clasificación funcional de plántulas	16
3.3.1. Caracteres funcionales.	16
3.3.2. Tipos funcionales de plántulas.....	17
3.4. Diferentes enfoques en el estudio de las plántulas	19
3.5. El estudio de las plántulas en Colombia	20
4. Métodos.....	22
4.1. Área de estudio.....	22
4.2. Inventario de la vegetación	24
4.2.1. Coberturas vegetales.....	25
4.3. Recolección de frutos y semillas	26
4.3.1. Manejo de frutos y semillas	26
4.4. Germinación de semillas y crecimiento de plántulas	28
4.5. Descripción morfológica.....	28
4.6. Caracteres y estados de carácter	30
4.7. Análisis estadísticos	30
4.8. Clave taxonómica	31
4.9. Colección de referencia de plántulas	31
5. Resultados.....	32

5.1. Análisis de la germinación de semillas.....	32
5.2. Caracteres morfológicos	34
5.2.1. Morfología de cotiledones.....	35
5.2.2. Morfología de las primeras hojas	40
5.2.3. Morfología del tallo: hipocótilo y epicótilo.....	43
5.3. Tipos morfológicos de plántulas.....	48
5.3.1. Plántulas de bosques naturales fragmentados	49
5.3.2. Plántulas de bosques naturales densos.....	49
5.4. Plántulas de especies invasoras	50
5.5. Registro fotográfico.....	52
6. Discusión	57
6.1. Geminación de semillas.....	57
6.2. Caracteres morfológicos	58
6.2.1. Morfología de cotiledones.....	59
6.2.2. Morfología de las primeras hojas	61
6.2.3. Morfología del tallo: hipocótilo y epicótilo.....	62
6.3. Tipos morfológicos de plántulas de bosques altoandinos	65
6.4. Plántulas de especies invasoras	66
7. Conclusión.....	68
Referencias.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Listado de especies incluidas en el estudio. BNF=Bosque natural fragmentado, BND=Bosque natural denso, CUL=Cultivada, INT=Intervenida. PEF=Plántula fanerocotilar-epigea-foliacea, PER=Plantula fanerocotilar-epigea-de reserva, CHR=plántula, PHR=Plántula fanerocotilar-hipogea-de reserva..... 50

Tabla 2. Porcentaje de especies con diferentes tipos morfológicos de plántulas en seis sitios (este estudio incluido; modificado a partir de Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama (2001). PEF=Plántula fanerocotilar-epigea-foliácea, PER=Plántula fanerocotilar-epigea-de reserva, CHR=plántula, PHR=Plántula fanerocotilar-hipogea-de reserva, E=Epigea, H= Hipogea, N=Número de especies. 59

Lista de figuras

- Figura 1.** Clasificación de los diferentes tipos morfológicos según los tres caracteres propuestos por Garwood (1996). esquema adaptado a partir de Garwood (2009). P=Fanerocotilar, C=Criptocotilar, E= Epigeo, H=Hipogeo, F=Foliáceo, R= de Reserva, CF=Cotiledones foliáceos, CR=Cotiledones de reserva, D=Diaspora, CH:Cotiledones haustoriales. 19
- Figura 2.** Mapa del oriente Antioqueño en donde se señala la ubicación de los dos sitios de estudio, El Carmen de Viboral (amarillo) y El Retiro (Verde). 24
- Figura 3.** Esquema que ilustra las etapas definidas para plántulas con germinación epigea. R=Radícula, H=hipocótilo, E=Epicótilo, C=Cotiledones, L1=Hoja 1, L2=Hoja 2, L3=Hoja 3, Int=Internodo..... 29
- Figura 4.** Esquema que ilustra las etapas definidas para plántulas con germinación hipogea. Elaboración propia. R=Radícula, E=Epicótilo, C=Cotiledones, L1=Hoja 1, L2=Hoja 2, L3=Hoja 3, Int=Internodo. 30
- Figura 5.** Porcentajes y tiempos de germinación. **A.** Porcentajes de germinación de las especies de plantas en estudio. los porcentajes se presentan en intervalos de frecuencia. **B.** Comparación del rango en el tiempo de germinación para especies de bosques naturales fragmentados y bosques naturales densos. Se excluyen los datos atípicos. **C.** Tiempo transcurrido hasta la germinación de las semillas. El tiempo se presenta en intervalos de 20 días..... 33
- Figura 6.** Plántulas de tres especies de bosques altoandinos. A. Plántula de *Croton magdalenensis* con germinación epigea y cotiledones foliáceos. B. Plántula de *Abarema lehmannii* con germinación epigea y cotiledones de reserva. C. Plántula de *Aniba perutilis* con germinación hipogea y cotiledones de reserva. CF=Cotiledones foliáceos, CR=Cotiledones de reserva, H=Hipocótilo, E=Epicótilo, L1=Primera hoja, L2=Segunda hoja. 36
- Figura 7.** Formas de la lámina de los cotiledones de cinco especies de bosques altoandinos. *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) posee además una lámina

asimétrica. Las fotografías no están a escala; se presenta la longitud de cada lamina.	37
Figura 8. Forma del ápice de los cotiledones de cinco especies de bosques altoandinos. Se presenta el ancho de la lámina cotiledonar debido a que las fotografías no están a escala.	38
Figura 9. Forma de la base de los cotiledones de seis especies de bosques altoandinos. Se presenta el ancho de la lámina cotiledonar debido a que las fotografías no están a escala.	39
Figura 10. Presencia de venación primaria, secundaria y/o terciaria en cotiledones de cuatro especies de bosques altoandinos. Venación primaria=líneas paralelas, Venación secundaria=línea continua, Venación terciaria=línea punteada. Se presenta la longitud de la lámina cotiledonar, debido a que las fotografías no están a escala.	40
Figura 11. Presencia de estipulas en el nudo cotiledonar de tres especies de bosques altoandinos. A. Vista frontal del nudo cotiledonar de <i>Abarema lehmannii</i> (Fabaceae). B. Estipula espiniforme interpeciolar de <i>Abarema lehmannii</i> con tricomas glandulares rodeando la estipula. C. Vista frontal del nudo cotiledonar de <i>Palicourea angustifolia</i> . (Rubiaceae). D. Estipula Foliar interpeciolar (bífida) de <i>Palicourea angustifolia</i> . E. Vista frontal del nudo cotiledonar de <i>Nertera granadensis</i> (Rubiaceae). F. Estipulas espiniformes interpeciolares en vista lateral de <i>Nertera granadensis</i> . C=Cotiledones, C _P =Peciolo cotiledonar, H=Hipocótilo, E=Epicótilo, H _P =Prefoliación de las primeras hojas, st=Estipula, gl-hr=tricoma glandular.	41
Figura 12. Similaridad y simetría en cotiledones de cuatro especies. A. Cotiledones dimorficos en tamaño de <i>Phytolacca rugosa</i> (Phytolaccaceae). B. Cotiledones dimorficos en forma de <i>Thunbergia alata</i> (Acanthaceae). C. Cotiledones especulares de <i>Alchornea triplinervia</i> (Euphorbiaceae) con láminas asimétricas. D. Cotiledones especulares de <i>Drymis granadensis</i> (Winteraceae) con láminas asimétricas.	42
Figura 13. Cotiledones de plántulas hipogeas de dos especies de bosques altoandinos según el grado de exposición con respecto a la testa seminal. A. Plántula de <i>Aniba perutilis</i> (Lauraceae) con cotiledones criptocotilares. B. Plántula	

de *Ormosia colombiana* (Fabaceae) con cotiledones fanerocotilares. C=Cotiledones. E=Epicótilo..... 43

Figura 14. Morfología de plántulas hipogreas de cuatro especies de bosques altoandinos. **A.** Plántula de *Smilax tomentosa* (Smilacaceae). **B.** Acercamiento al tallo de la plántula de *Smilax tomentosa*. Esta plántula posee un epicótilo reducido (a veces ausente) y no presenta catáfilas. Se resaltan los peciolos de la primera y la segunda hoja (L_{P1} Y L_{P2}). **C.** Cotiledón esférico de *Smilax tomentosa* con peciolo cotiledonar (C_P). **D.** Plántula de *Bomarea bredemayerana* (Alstroemeriaceae). **E.** Acercamiento al epicótilo de *Bomarea bredemayerana* con catáfila escamosa envainante. **F.** Cotiledón elipsoidal de *Bomarea bredemayerana*. El cotiledón no presenta peciolo cotiledonar. **G.** Plántula de *Persea chrysophylla* (Lauraceae). **H.** Acercamiento al epicótilo de *Persea chrysophylla* con catáfila foliácea. **I.** Cotiledones semiesféricos de *Persea chrysophylla*. Estos cotiledones no presentan peciolo y en algunos casos están expuestos debido a que la testa seminal se cae parcialmente. **J.** Plántula de *Aniba perutilis* (Lauraceae). **K.** Acercamiento al epicótilo de *Aniba perutilis* con catáfilas escamosas. **L.** Cotiledones semi-elipsoidales de *Aniba perutilis*. Estos cotiledones no presentan peciolo..... 44

Figura 15. Variación morfológica en las primeras hojas de plántulas de cuatro especies de bosques altoandinos. **A.** transición morfológica entre la primera y la segunda hoja de *Croton magdalenensis* (Euphorbiaceae), se presentan diferencias en venación, forma de la base de la hoja y la forma del margen. **B.** Transición morfológica entre las primeras cuatro hojas de *Phytolacca rugosa* (Phytolaccaceae). Se presentan diferencias en venación, forma de la lámina, del ápice y de la base. **C.** Variación en el número de folíolos entre la primera y la segunda hoja de la plántula de *Cedrela montana* (Meliaceae). La primera hoja presenta 3 folíolos y la segunda, 5 folíolos. **D.** Variación en el número de folíolos entre la primera y la segunda hoja de la plántula de *Mimosa albida* (Fabaceae). La primera hoja es pinada con 6 folíolos y la segunda es bipinada con 8 folíolos..... 45

Figura 16. Plántula de *Cedrela montana* (Meliaceae). **A.** Primer nodo foliar de *Cedrela montana* con hojas opuestas. **B.** Segundo y tercer nodo foliar de *Cedrela montana* con hojas alternas. **C.** Acercamiento al segundo nodo foliar de *Cedrela*

montana. **D.** Internodo de *Cedrela montana* con presencia de lenticelas. **E.** Acercamiento a lenticela de *Cedrela montana*. **F.** Corte transversal de lenticela. 46

Figura 17. Comparación de la variación en la epidermis de los tallos (hipocótilo y epicótilo). **A.** hipocótilo glabro con epidermis lisa de *Passiflora edulis* (*Passifloraceae*). **B.** Epicótilo con pubescencia escasa de tricomas muy cortos y manchas rojizas de *Passiflora edulis*. **C.** Hipocótilo con epidermis rugosa de *Vaccinium meridionale* (*Ericaceae*). **D.** Epicótilo con epidermis lisa y pubescencia densa de tricomas glandulares y curvados de *Vaccinium meridionale*. **E.** Tricoma glandular en el epicótilo de *Vaccinium meridionale*. **F.** Tricoma curvado en el epicótilo de *Vaccinium meridionale*. **G.** Hipocótilo con epidermis lisa de *Spirotheca rosea* (*Malvaceae*). **H.** Acercamiento de la epidermis del hipocótilo de *Spirotheca rosea*. Presenta pubescencia moderada de tricomas muy cortos. **I.** Epicótilo de color amarillo y glándulas sobre la epidermis de *Spirotheca rosea*. **J.** Acercamiento a la epidermis con glándulas de *Spirotheca rosea*. **K.** Hipocótilo terete de *Citharexylum subflavescens* (*Verbenaceae*) con epidermis lisa. **L.** Epicótilo cuadrangular de *Citharexylum subflavescens*. **M.** Hipocótilo de color violeta con epidermis rugosa irregular de *Phytolacca rugosa* (*Phytolaccaceae*). **N.** Acercamiento a la epidermis rugosa irregular de *Phytolacca rugosa*. **O.** Hipocótilo con protuberancias de *Viola stipularis* (*Violaceae*). Presenta algunas manchas rojizas. **P.** Epicótilo con epidermis lisa de *Viola stipularis*. Presenta algunas manchas rojizas. **Q.** Epicótilo con epidermis tuberculada de *Piper aduncun* (*Piperaceae*). **R.** Acercamiento a la epidermis tuberculada de *Piper aduncun*. 47

Figura 18. Engrosamientos en el hipocótilo de plántulas de dos especies de bosques altoandinos. **A.** Plántula con germinación epigea de *Spirotheca rosea* (*Malvaceae*) con engrosamiento en la base del hipocótilo. **B.** Plántula con germinación epigea de *Clusia discolor* (*Clusiaceae*) con engrosamiento en la sección intermedia del hipocótilo. C=Cotiledones, Eg=Engrosamiento, C_C=Cicatris del cotiledón..... 48

Figura 19. Tipos morfológicos de plántulas encontrados en bosques altoandinos. **A.** Plántula PEF (Fanerocotilar-Epigea-Foliacea) de *Drymis granadensis* (*Winteraceae*). **B.** Plántula PER (Fanerocotilar-Epigea-de Reserva) de *Abarema*

lehmannii (Fabaceae). **C.** Plantula CHR (Criptocotilar-Hipógea-de Reserva) de Quercus humboldtii (Fagaceae). **D.** Plántula PHR (Fanerocotilar-Hipógea-de Reserva) de Ormosia colombiana (Fabaceae). 49

Figura 20. Lenticelas en el hipocótilo de Cedrella montana (Meliaceae). **A.** Corte en vista transversal de lenticela en estadios tempranos de desarrollo. **B.** Corte en vista transversal de región contigua a la lenticela en desarrollo. Los límites de la peridermis primaria se resaltan con líneas discontinuas. L=Lenticela; ep=Epidermis; pp=Peridermis primaria; pc=Parénquima cortical. 64

Resumen

En la mayoría de los casos, el conocimiento sobre los aspectos morfológicos y ecológicos de plántulas de bosques altoandinos es escaso o inexistente, a pesar de su utilidad en campos como la taxonomía o la restauración ecológica. En este estudio se examinaron las características morfológicas y algunos aspectos ecológicos de plántulas de 54 especies de bosques altoandinos del oriente Antioqueño, Colombia. Las plántulas se obtuvieron a partir de semillas de poblaciones naturales germinadas en vivero y se describieron según caracteres morfológicos definidos previamente. Se analizó la variación morfológica de las especies en estudio y su significancia ecológica en ambientes contrastantes. Como resultados iniciales se presentan una descripción morfológica detallada y una clave para la determinación taxonómica de las especies en este estudio, así como una contribución sobre los aspectos básicos de su germinación. Los análisis mostraron una amplia diversidad morfológica en cotiledones y primeras hojas con caracteres relevantes para la diferenciación a nivel de especies, aunque en casos específicos, los tallos (hipocótilo y epicótilo) también presentaron caracteres valiosos. La morfología representada en tipos funcionales mostró que plántulas con cotiledones foliáceos tienden a encontrarse en mayor proporción en hábitats perturbados, mientras que hábitats conservados presentaron mayor diversidad de tipos funcionales. Además, se encontró que el patrón de distribución de tipos funcionales en bosques neotropicales es rescatado por nuestras observaciones en bosques altoandinos, sin embargo, es necesario un muestreo más amplio que corrobore los resultados presentados. También, se describen plántulas de tres especies invasoras y se analiza la significancia ecológica de algunos caracteres morfológicos. Con estos resultados, este estudio pretende llenar algunos vacíos en el conocimiento de la morfología y la ecología de plántulas en estos ecosistemas altamente amenazados, y abre las puertas a un campo de estudio inexplorado en nuestro país.

Palabras clave: Plántulas, Cotiledones, Bosque altoandino, tipos funcionales, hábitat, morfología.

1. Introducción

La etapa de plántula es fundamental, ya que las estrategias que presenten estas para sobrevivir a los factores ambientales, determinan el establecimiento exitoso de un individuo joven e independiente y definen la distribución final de las plantas adultas (Barrera, 1985; Comita, Aguilar, Pérez, Lao, & Hubell, 2007). Esta etapa crítica dependerá de factores genéticos y ambientales relacionados con las fases de desarrollo y definirá, en última instancia, la composición y estructura de la comunidad de especies en un bosque.

En espermatofitas, una plántula se define como la etapa inicial del esporofito de una planta, que se origina a partir del embrión después de la germinación. Esta etapa se caracteriza por la presencia de la radícula, el vástago y los cotiledones e inicia con su expansión y diferenciación. Así mismo finaliza con la expansión de las primeras hojas y la abscisión de los cotiledones debido al agotamiento de las sustancias de reserva (Lubbock, 1829; de Vogel, 1980; Garwood, 1996).

Por lo general las características morfológicas en las fases tempranas de desarrollo de una planta son notablemente diferentes a las que se presentan en un organismo adulto. Este aspecto hace que sea complejo correlacionar estados maduros con aquellos estados iniciales sin una descripción morfológica previa (Sánchez & Zepeda, 2004; Leck, Parker, & Simpson, 2008).

La variabilidad morfológica entre fases tempranas y tardías puede ser un factor limitante en diferentes investigaciones, especialmente las que dependen de la disponibilidad y reconocimiento de individuos para el rescate, conteo de la regeneración natural del bosque y manejo de bancos de plántulas (Barrera, 1992). El reconocimiento e identificación de las plántulas juegan un papel importante en estudios para determinar la dinámica del bosque, los estados sucesionales y para

la clasificación de las comunidades vegetales (Barrera, 1985; Martínez-Ramos, 1994; Comita, Aguilar, Pérez, Lao, & Hubell, 2007)

Algunos autores, como Díez y Moreno (1998), mencionan que una de las mayores dificultades en la ejecución de programas de conservación y restauración ecológica es la identificación morfológica de plántulas. En estos proyectos el reconocimiento de las especies a partir de las plántulas en la zona de regeneración puede ser de gran ayuda en el monitoreo del bosque, ya que la supervivencia de estos individuos en crecimiento determinará su composición y estructura.

El estudio de la morfología de plántulas también proporciona información valiosa para la exploración y reconocimiento de caracteres útiles en taxonomía, análisis filogenéticos y evolutivos. En muchos casos, la morfología en etapas de desarrollo tempranas ha sido útil en el esclarecimiento de relaciones taxonómicas, en donde otro tipo de caracteres, como los relacionados con la morfología reproductiva, no son lo suficientemente informativos (Hernández & Organista, 2002; Gurgel, dos Santos, Lucas, & Bastos, 2012; Harmant & Rodrigues, 2014).

No obstante, estas investigaciones se ven restringidas por la poca disponibilidad de herramientas para la determinación taxonómica de las plántulas, tales como colecciones de referencia en los herbarios y claves o guías para su identificación, que permitan evidenciar la diversidad morfológica existente en este estadio particular (Garwood, 2009). En Colombia se vienen implementando esfuerzos para la conservación, restauración ecológica y estudios sobre la dinámica de regeneración de los bosques, sin embargo, no existen estudios que aborden la morfología de las plántulas y que generen información para su identificación (Salazar, Rodríguez, & Alzate, 2007; Álvarez, et al., 2016; Gómez-Hoyos, Rodríguez, & Quijano-Abril, 2016; Montes & Quijano-Abril, 2016; Restrepo, y otros, 2016). Para complementar las iniciativas que buscan el manejo, recuperación y el entendimiento de la dinámica de bosques, es necesario realizar un análisis detallado que permita describir las características morfológicas de las plántulas y establecer una herramienta para su determinación taxonómica.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Examinar las características morfológicas y ecológicas de plántulas de Angiospermas distribuidas en bosques montanos del altiplano del Oriente Antioqueño.

2.2. Objetivos específicos

- Describir morfológicamente las plántulas de angiospermas de bosques montanos del altiplano del Oriente Antioqueño.
- Describir la variación morfológica en plántulas de angiospermas de bosques montanos del altiplano del Oriente Antioqueño
- Evaluar la relación de los rasgos morfo-funcionales de plántulas con respecto al hábitat y las estrategias de regeneración.
- Realizar una clave taxonómica para plántulas de especies de angiospermas en bosques montanos del altiplano del Oriente Antioqueño.
- Crear una colección de referencia de plántulas en los herbarios HUCO y HUA.

3. Marco conceptual y estado del arte

El ciclo de vida de las plantas comprende diferentes etapas y aspectos particulares (Simpson, 2010). Se ha intentado conceptualizar el término “plántula” utilizando herramientas como la morfología, anatomía y ecología. Debido a la complejidad en el estudio de las plántulas, es necesario utilizar una definición según el contexto particular en el que se emplee (Fenner, 1987; Garwood, 1996; Flores, 2002).

Debido a que la forma y estructura de los órganos en las plántulas varía considerablemente con respecto a los individuos adultos, algunos autores han propuesto criterios que permiten comprender de forma general la organización de los caracteres morfológicos en este estadio del desarrollo y su significancia en la ecología, evolución, desarrollo y sistemática (Lubbock, 1829; Duke, 1969; Burger, 1972; Bokdam, 1977; Barrerra, 1992; Garwood, 1996; Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Hernández & Organista, 2002).

3.1. El concepto de plántula

Las plántulas representan el estado más juvenil del esporofito en espermatofitas, que se origina después de la germinación. Algunos estudios han destacado la dificultad de elaborar una definición general que establezca los límites del concepto de plántula, por esta razón no existe una definición única, cada una de estas responde a diferentes enfoques (Duke, 1969; de Vogel, 1980; Garwood, 1996)

Fenner (1987), plantea una definición fisiológica de las plántulas basándose en la movilización de nutrientes de reserva en la semilla. Según esta propuesta, el organismo deja de ser plántula cuando finaliza el transporte de nutrientes almacenados en los cotiledones al resto de su cuerpo. No obstante, esta definición es compleja en ecología debido a que es difícil determinar en campo cuándo una

plántula ha dejado de utilizar sus reservas. Garwood (1996), en su estudio funcional de los caracteres morfológicos considera que el individuo es todavía una plántula cuando se desarrolla y expande completamente el primer órgano fotosintético y aun contiene algunos caracteres funcionales derivados de las reservas contenidas en la semilla. Otras definiciones menos específicas limitan el estado de plántula al tamaño del individuo, lo cual termina por incluir en el concepto otras etapas de crecimiento más avanzadas como juveniles e incluso adultos (Whitemore, 1996). En muchos otros estudios ecológicos donde se utiliza el término plántula éste niquiera es definido (del Amo, 1979; Ricardi, Hernández, & Torres, 1987; Zevallos Pollito & Flores Bendezú, 2003; Harmant & Rodrigues, 2014).

Para este trabajo se utilizará la siguiente definición: las plántulas representan el estado juvenil de del esporofito en las espermatofitas, que se origina a partir del embrión después de la germinación. Este estado se caracteriza por la presencia de la radícula, el vástago y estructuras cotiledonares e inicia con su expansión y diferenciación. Finaliza con la expansión de las primeras hojas no cotiledonares y la abscisión de los cotiledones debido al agotamiento de las sustancias de reserva (Lubbock, 1829; de Vogel, 1980; Garwood, 1996).

3.2. Estructura de la plántula

El embrión maduro de las plantas está formado por un eje que soporta uno, dos o varios cotiledones. Los cotiledones son las primeras estructuras embrionarias del esporofito joven que se originan en la embriogénesis y contienen las reservas almacenadas en la semilla. El eje caulinar que se halla por encima de los cotiledones se denomina epicótilo. El epicótilo junto con las hojas iniciales se denomina plúmula. Así, el eje que está situado por debajo de los cotiledones es llamado hipocótilo. En la parte inferior de este eje se sitúa una raíz embrionaria o radícula y el punto de unión entre esta estructura y el hipocótilo se denomina eje hipocótilo-radícula. Muchas semillas poseen germinación epigea, en la que los cotiledones (expuestos o dentro de la cubierta seminal) y los nodos cotiledonares son influenciados por la elongación del hipocótilo, lo que da lugar a que los

cotiledones se levanten por encima de la superficie del suelo. En las semillas que poseen una germinación hipogea los cotiledones y los nodos permanecen por debajo o sobre la superficie del suelo. En las plántulas fanerocotilares los cotiledones emergen de la cubierta seminal y están totalmente expuestos, mientras que en las plántulas criptocotilares los cotiledones no emergen y permanecen dentro de la cubierta seminal. Las primeras hojas de la plántula diferentes a las de la planta adulta (metáfilas) y que se originan después de los cotiledones se denominan eófilas (o protófilas) (Diez & Moreno, 1998; Flores, 2002).

3.3. Clasificación funcional de plántulas

La selección de caracteres para determinar tipos funcionales en plántulas, ha sido una propuesta empleada por diferentes autores con el objetivo de establecer grupos más sencillos de reconocer y que representen la enorme variación morfológica de especies tropicales (Duke, 1965; 1969; Garwood, 1983; Miquels, 1987; Hladik & Miquel, 1990; Ng, 1978). Aunque se ha señalado que en algunos casos los caracteres que sustentan estos tipos funcionales son convergentes, su interpretación adquiere relevancia desde un enfoque fisiológico, ecológico, evolutivo y ontogenético (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001).

Garwood (1996; 2009), propone una clasificación de cinco tipos funcionales para angiospermas basales y eudicotiledóneas tropicales. Asimismo, debido a las divergencias morfológicas que presentan las monocotiledóneas en comparación con el resto de las angiospermas, también propone una clasificación específica para este grupo con base en tres caracteres principales (Garwood, 2009).

3.3.1. Caracteres funcionales.

3.3.1.1. Exposición de los cotiledones

Grado de emergencia de los cotiledones con respecto a la testa seminal. Si los cotiledones quedan expuestos y pierden la cubierta seminal en el proceso de

expansión se les llama fanerocotilares (P). Por otro lado, si los cotiledones conservan la cubierta seminal hasta la senescencia, se les llama criptocotilares (C).

3.3.1.2. Posición de los cotiledones

Ubicación de los cotiledones con respecto a la superficie del suelo. Si los cotiledones se ubican por encima de la superficie del suelo se les llama cotiledones epigeos (E). Si, por el contrario, estos se ubican por debajo o en contacto con la superficie del suelo se les llama cotiledones hipogeos (H).

3.3.1.3. Función de los cotiledones

Papel que cumplen los cotiledones durante el proceso de crecimiento de la plántula. Cuando los cotiledones poseen una apariencia foliácea, con una lámina aplanada y verde, se les llama cotiledones foliáceos (F, fotosintéticos). Por otro lado, si estos presentan engrosamientos, con forma esférica, cilíndrica o elipsoidal, se les llama cotiledones de reserva (R, no fotosintéticos).

3.3.2. Tipos funcionales de plántulas

Teniendo en cuenta estos caracteres morfológicos y sus correspondientes estados de carácter, se plantean diferentes tipos funcionales (Figura 1). Es importante aclarar que la proporción en la que estos grupos es encontrada en las diferentes zonas de vida varía ligeramente. Además, en algunos casos, unas pocas especies no concuerdan con estos.

3.3.2.1. P-E-F: Fanerocotilar-Epigeo-Foliáceo.

Es el grupo más grande de plántulas en el neotrópico que comprende todas las especies con cotiledones foliáceos. Este grupo se puede dividir en dos subgrupos con el objetivo de hacer una identificación más sencilla. P-E-F(1) para las plántulas que tienen una sola hoja verdadera en el primer nodo y P-E-F(2) para las plántulas que tienen dos hojas verdaderas (hojas opuestas).

3.3.2.2. C-H-R: Criptocotilar-Hipogeo-Reserva

Este es uno de los grupos más grandes de plántulas después de PEF. Los cotiledones de este grupo pueden ser órganos haustoriales o de almacenamiento de reservas. Sin embargo, debido a las limitaciones en la observación directa de las estructuras internas no se separan en subgrupos para realizar la determinación del tipo de cotiledones. Aquí también se incluyen plántulas en las que las reservas se almacenan en el hipocótilo como por ejemplo en individuos de la familia Clusiaceae. En estos casos el hipocótilo se engrosa y los cotiledones están ausentes o se presentan vestigios de su presencia como cicatrices, escamas o catáfilas.

3.3.2.3. P-E-R: Fanerocotilar-Epigeo-Reserva

Este es el tercer grupo más grande en el neotrópico. En este caso los cotiledones son siempre órganos carnosos de almacenamiento de reservas, debido a que los cotiledones haustoriales (como en CHR) siempre son criptocotilares.

3.3.2.4. P-H-R: Fanerocotilar-Hipogeo-Reserva

Al igual que en PER, los cotiledones son siempre órganos carnosos de almacenamiento de reservas. En general, los cotiledones pueden estar totalmente expuestos, pero es posible que algunas especies presenten cotiledones parcialmente expuestos en los que la porción más distal de la lámina está dentro de la testa seminal, mientras que la parte proximal queda expuesta.

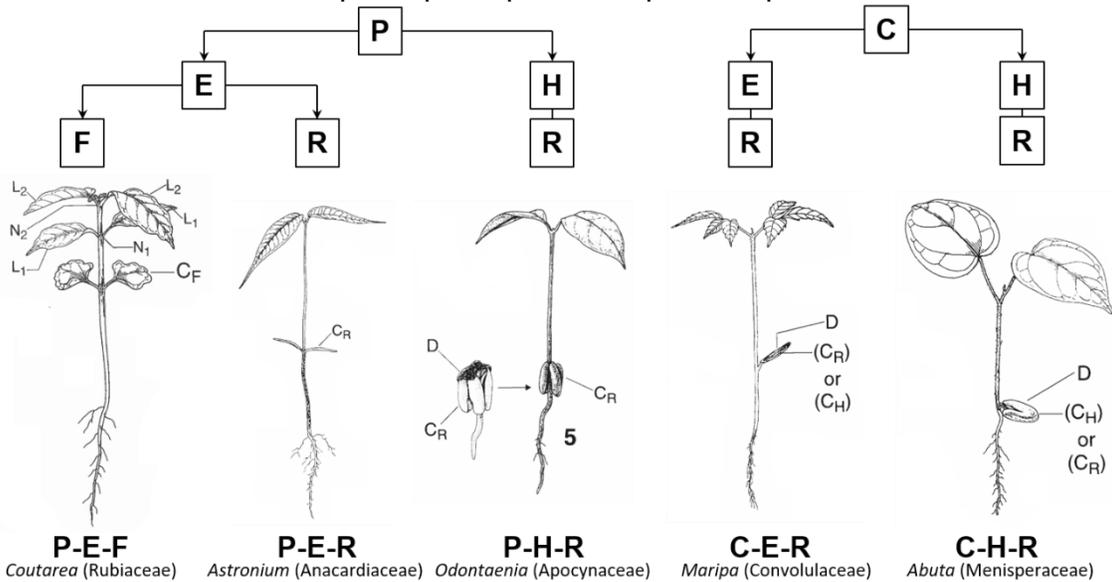


Figura 1. Clasificación de los diferentes tipos morfológicos según los tres caracteres propuestos por Garwood (1996). esquema adaptado a partir de Garwood (2009). P=Fanerocotilar, C=Criptocotilar, E= Epigeo, H=Hipogeo, F=Foliáceo, R= de Reserva, CF=Cotiledones foliáceos, CR=Cotiledones de reserva, D=Diaspora, CH:Cotiledones haustoriales.

3.3.2.5. C-E-R: Criptocotilar-Epigeo-Reserva

Este es uno de los grupos menos comunes en el neotrópico. Al igual que en CHR, los cotiledones de este grupo pueden ser órganos haustoriales o de almacenamiento de reservas.

3.4. Diferentes enfoques en el estudio de las plántulas

Los aspectos fisiológicos y del desarrollo fueron inicialmente el tema de principal interés al abordar el estudio de las etapas iniciales de las plantas (Fenner, 1987). No obstante, el conocimiento de las plántulas y sus características han sido de gran utilidad en diversos campos de la ciencia desde finales del siglo XIX y durante todo

el periodo del siglo XX, donde se encuentran publicaciones relacionados con las ciencias agrarias y se destacan, entre otros, los trabajos de Kummer (1951), Chamcellor (1964), del Puerto (1970) y Piergentili (1970) que buscan identificar juveniles de especies arvenses asociadas a sistemas agrícolas. Así mismo, Bokdam (1977), de Vogel (1980) y Ye (1983) presentan observaciones en el área de la filogenética haciendo uso de caracteres anatómicos. Además de estos dos enfoques, también se aborda el estudio de la morfología y taxonomía, en las que se destacan las obras de Lubbock (1829) y Csapody (1968) para gran parte de la flora de Europa, Duke (1965; 1969) para América central, Burger (1972) y Ng (1978) para el sudeste de Asia, de la Mensbruge (1966), Miquels (Miquels, 1987) para África occidental y Clifford (1987) para gran parte de Australia. Estas investigaciones fueron la base de los estudios modernos que describen la germinación y morfología de plántulas. Actualmente, las principales perspectivas en el estudio de las plántulas son sus características fisiológicas y aspectos de su ecología.

Diferentes autores han estudiado la morfología de plántulas del Neotrópico. Entre los principales trabajos se destacan los de Duke (1965; 1969) en los que se realiza una descripción y clave de identificación de especies leñosas de diferentes tipos de bosque en Puerto Rico. Del Amo (1979) presenta una clave de identificación para estados juveniles de especies de selva alta perennifolia en México. Sánchez y Mantovani (1984) realizaron la identificación de plántulas de 5 taxones del género *Brassica* en Brasil. Ricardi, et al. (1987) estudiaron la morfología de plántulas de bosques en Venezuela. Uno de los trabajos más completos hasta la fecha para la flora neotropical es el de Garwood (2009), en donde se propone una guía ilustrada de identificación y clave taxonómica de plántulas para la isla de Barro Colorado, junto con una descripción morfológica detallada de plántulas de una gran cantidad de familias.

3.5. El estudio de las plántulas en Colombia

El interés por el estudio de esta etapa de vida en el territorio nacional tuvo sus inicios a principios del siglo XIX, con Francisco Javier Matís, botánico y pintor de la Real

Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783-1851). Fue él quien en 1816 produjo las primeras láminas con diseños e ilustraciones a color en las que se observan plántulas de algunas especies de la familia Asteraceae en diferentes etapas de desarrollo, en las que se destacan la morfología de los cotiledones y las primeras hojas. A la fecha se conservan más de 80 láminas con “plantas tiernas” y esquemas de germinación de diferentes especies elaboradas por Matís en el Real Jardín Botánico de Madrid (Díaz-Piedrahita, 2000).

Por otro lado, los estudios recientes más representativos para Colombia son los de Barrera (1985; 1992) y Díez y Moreno (1998). Barrera (1985) realiza la identificación de plántulas de especies de bosques de niebla y en estudios posteriores (1992) describe plántulas de especies leñosas y naturalizadas de 45 especies en bosques subandinos del suroccidente de Cundinamarca. Así mismo, Díez y Moreno (1998) presentan la morfología de semillas y plántulas de cinco especies arbóreas de bosques húmedos del suroriente de Antioquia.

Existen trabajos recientes que se enfocan en el estudio de las características de especies de plantas promisorias de las cuales su conocimiento es escaso. Entre ellos destaca el de Rivera-Martin et al. (2013) que en su publicación “Ecología y Silvicultura de especies útiles amazónicas” describen de forma detallada, entre otras, la morfología de frutos, semillas y plántulas de tres especies maderables de gran importancia en la región Amazónica. En otras investigaciones se describe el proceso de germinación y morfología de plántulas como parte del protocolo de propagación de ciertas especies útiles en sistemas productivos (Castro, Olarte, Rache, & Pacheco, 2012). Sin embargo, hasta la fecha no existen estudios que abarquen la diversidad morfológica de plántulas de especies de los bosques de Colombia.

4. Métodos

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en remanentes de bosque montano en el altiplano del Oriente Antioqueño con una elevación entre los 2000 y los 2800 m s.n.m. Estos fragmentos se encuentran sobre los cerros de las veredas La Milagrosa y El Cerro del municipio de El Carmen de Viboral y en la vereda Carrizales en el municipio de El Retiro, ubicados en la vertiente oriental de la Cordillera Central, al suroriente del departamento de Antioquia, Colombia (Figura 2). La vereda Carrizales se encuentra

en el noroccidente del municipio de El Retiro, en donde se ubica la Reserva Ecológica San Sebastián-La Castellana (6°06'27.6"N 75°32'55.5"W) declarada como área de manejo especial. Esta reserva cuenta con 196 ha, un rango altitudinal entre los 2500 y los 2950 m s. n. m., una temperatura media anual de 16.7°C y una precipitación promedio anual de 2280 mm con temporadas secas en diciembre-marzo y junio-septiembre, y picos altos de precipitación en abril-mayo y octubre-noviembre. Esta zona está clasificada como bosque húmedo montano bajo (bh-MB) según el sistema de clasificación de Holdridge (1967). La zona presenta pendientes mayores al 25% con un relieve que varía de ligeramente ondulado a fuertemente escarpado. Existen áreas que difieren en su grado de intervención antrópica presentando bosques conservados, bosques medianamente intervenidos debidos a la extracción de madera y áreas totalmente perturbadas debido a la construcción de caminos y la expansión de la frontera agrícola y ganadera. Los cerros de las veredas La Milagrosa y El Cerro se ubican al noroccidente del municipio de El Carmen de Viboral (6°03'24.1"N 75°20'31.9"W) y pertenecen al Distrito Regional de Manejo Integrado Cerros de San Nicolás. Este distrito cuenta con 6559.51 ha totales de las cuales 3089 ha se encuentran en el municipio de El Carmen, con un rango altitudinal entre los 2000 y los 2600 m s. n. m. El mayor porcentaje de coberturas boscosas se compone de bosque natural fragmentado y mosaicos de pasto con cultivos agrícolas. Tiene una temperatura media de 13°C con extremos entre 12°C y 17,5°C, una precipitación media anual de 1940 mm (CORNARE, 2015).

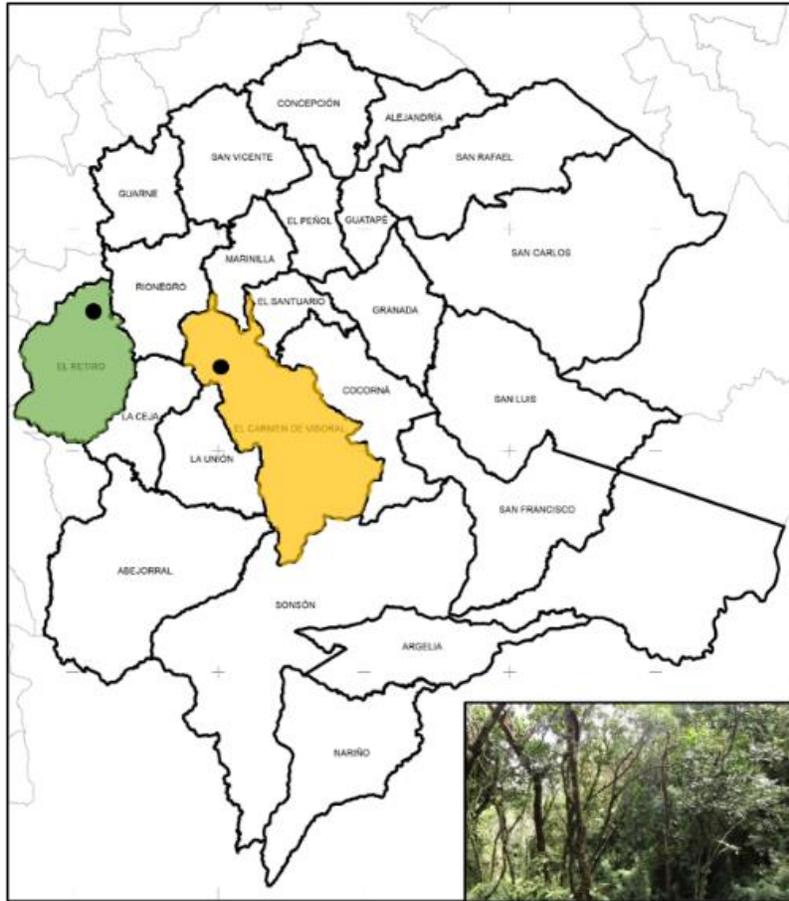


Figura 2. Mapa del oriente Antioqueño en donde se señala la ubicación de los dos sitios de estudio, El Carmen de Viboral (amarillo) y El Retiro (Verde).

4.2. Inventario de la vegetación

En cada sitio de estudio se seleccionaron dos zonas del bosque con diferentes coberturas boscosas, en las cuales se realizó la recolección de frutos y el inventario florístico respectivo. Este último fue la base para la posterior determinación taxonómica de las plántulas. Para el inventario se siguió la metodología propuesta por Villareal et al. (2004) para la realización de colecciones generales de plantas, que consiste en recorridos aleatorios de reconocimiento de la zona de estudio y la posterior recolección de muestras de las especies que presenten floración y/o fructificación.

Se tomaron de una a dos muestras por cada individuo representadas por una rama terminal con hojas, flores y/o frutos, cuando estuvieron disponibles. Además, se registraron datos de interés para la determinación taxonómica de las especies y otros atributos relevantes en las colecciones botánicas, tales como altura de la planta, DAP, color del fruto, color de la flor, exudados, además de la localidad donde se realizó la colecta, las coordenadas geográficas, la altura sobre el nivel del mar, entre otros. La información sobre los individuos recolectados se registró en planillas previamente elaboradas en donde se incluyeron los códigos de colección. Las colecciones procedentes del inventario florístico se depositaron en la colección de referencia del herbario de la Universidad Católica de Oriente (HUCO).

4.2.1. Coberturas vegetales

Los muestreos fueron realizados en bosques con dos tipos de coberturas, según lo propuesto por Ideam, IGAG y Cormagdalena (2007):

4.2.1.1. Bosques naturales fragmentados

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales con intervención humana que mantienen su estructura original. Se puede dar la ocurrencia de áreas completamente transformadas en el interior de la cobertura, originando parches por a la presencia de otras coberturas como pastos cultivos y/o rastrojos que remplazan la cobertura original, los cuales no presentan más del 30% del área de la unidad de bosque natural.

4.2.1.2. Bosques naturales densos

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuos, con altura superior a 5 metros. Estas formas vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su cobertura original y las características funcionales.

4.3. Recolección de frutos y semillas

En el estudio se incluyeron especies de angiospermas nativas e introducidas presentes en la zona. Dentro de este grupo se tuvieron en cuenta las especies de germinación terrestre (Garwood, 2009). Las semillas fueron el insumo principal para la obtención de plántulas y su presencia en los diferentes sitios de estudio dependió directamente de las fases fenológicas de las especies en este tipo de bosque, razón por la cual se realizaron salidas en diferentes épocas del año. Los frutos y semillas fueron almacenados temporalmente en bolsas de papel marcadas con el código de colecta respectivo. Las bolsas fueron almacenadas en contenedores de poliestireno para mantener condiciones ambientales estables al momento del transporte al laboratorio.

4.3.1. Manejo de frutos y semillas

El almacenamiento temporal y la extracción de las semillas se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica de Oriente, en lugar seco a temperatura ambiente y con adecuada ventilación, evitando el contacto de las muestras con fuentes de contaminación u otros agentes externos. Se procuró un tiempo de almacenamiento y de siembra menor a 7 días (Vozzo, 2010). Para la clasificación de los frutos y su posterior procesamiento en el laboratorio se tuvieron en cuenta características morfológicas básicas importantes para el manejo y tratamiento de las semillas. Entre estas características están: la consistencia y textura del pericarpio, el tipo de dehiscencia y el tamaño del fruto. Una vez aislados, los frutos simples, agregados y múltiples fueron clasificados en frutos secos dehiscentes, frutos secos indehiscentes y frutos carnosos, finalmente se procedió a la limpieza y extracción de semillas (Rao, et al., 2007).

4.3.1.1. Frutos secos

Los frutos secos dehiscentes se abren por sí solos durante el secado natural cuando se encuentran maduros, por lo que es posible extraer las semillas directamente y sin ningún tipo de tratamiento. Cuando los frutos no se abrieron por sí solos, estos

se secaron dispersándolos sobre papel periódico expuesto a una circulación adecuada de aire bajo techo. En algunos casos se realizó la extracción manual de las capas del fruto cuando las características de coloración y humedad aparente daban indicios de maduración o apertura.

Con los frutos indehiscentes se procedió a la extracción manual con ruptura mecánica de las capas externas del pericarpio. Para facilitar el rompimiento del pericarpio los frutos se secaron de forma natural dispersándolos sobre papel periódico expuesto a una circulación adecuada de aire bajo techo.

4.3.1.2. Frutos carnosos

A los frutos carnosos se les realizó un corte transversal con el fin de obtener dos porciones, a las que se les extrajeron las semillas de mayor tamaño con ayuda de pinzas. Las semillas pequeñas de frutos con abundante pulpa se extrajeron macerando dicha pulpa y realizando lavados con agua, seleccionando finalmente las semillas que se precipitan. Posteriormente las semillas extraídas se secaron de forma natural dispersándolas sobre papel filtro expuesto a una circulación adecuada de aire bajo techo.

A las semillas que poseían mucilago o arilo se les aplicó frotamiento o se retiró con ayuda de una pinza, según el caso, y se lavaron con agua para realizar el posterior proceso de secado. Una vez extraídas las semillas, se eliminaron los desechos (como partes de hojas y tallos) de la totalidad de la muestra. Además, las semillas se inspeccionaron para detectar daños mecánicos u otro tipo de daños ocasionados por hongos o insectos y se eliminaron de la muestra.

Posterior al proceso de extracción y limpieza se separó un número máximo de 50 semillas por individuo para la siembra y un excedente se dispuso para almacenamiento. No se aplicaron tratamientos pre-germinativos. Las semillas destinadas a la siembra se llevaron directamente a las bandejas de germinación y las que eran almacenadas se guardaron en bolsas herméticas de polietileno.

4.4. Germinación de semillas y crecimiento de plántulas

El espacio de vivero utilizado para la siembra y germinación del material colectado se encuentra ubicado en las instalaciones de la Universidad Católica de Oriente en el municipio de Rionegro, Antioquia a 2080 m s. n. m., a una temperatura promedio de 18.5°C y una humedad relativa de 80% (IDEAM, 2005). El vivero cuenta con unas dimensiones de largo y ancho de 7.50 m×4.10 m y una altura de 3.20 m. Dicho espacio cuenta con una cubierta exterior de plástico translucido y un recubrimiento interior en poli-sombra que evitó la exposición directa de los especímenes a la luz solar. El interior se divide en “camas” de 6.2 m×1.0 m sobre las que dispusieron las bandejas de germinación y las bolsas de vivero. Las semillas tratadas previamente se sembraron en bandejas rectangulares de 10 cm×25 cm×50 cm de 50 cavidades sobre una mezcla de turba como sustrato. El tratamiento hídrico fue constante aplicando un riego periódicamente de forma manual.

En las bandejas de germinación se sembraron un máximo de 50 semillas por morfoespecie. Cada bandeja se separó por morfoespecie y se marcó con información del parental, el código de la morfoespecie, el número de individuo y la fecha de siembra. Así mismo, una vez se produjo la germinación de las semillas, se tomaron datos de las fechas de germinación y el número de semillas germinadas en cada fecha. Toda la información se registró en planillas previamente elaboradas.

4.5. Descripción morfológica

La descripción y caracterización de plántulas se llevó a cabo a partir del material biológico procedente de las pruebas de germinación. Cada plántula se clasificó en plántula epigea o plántula hipogea y evaluó en 4 diferentes etapas de desarrollo,

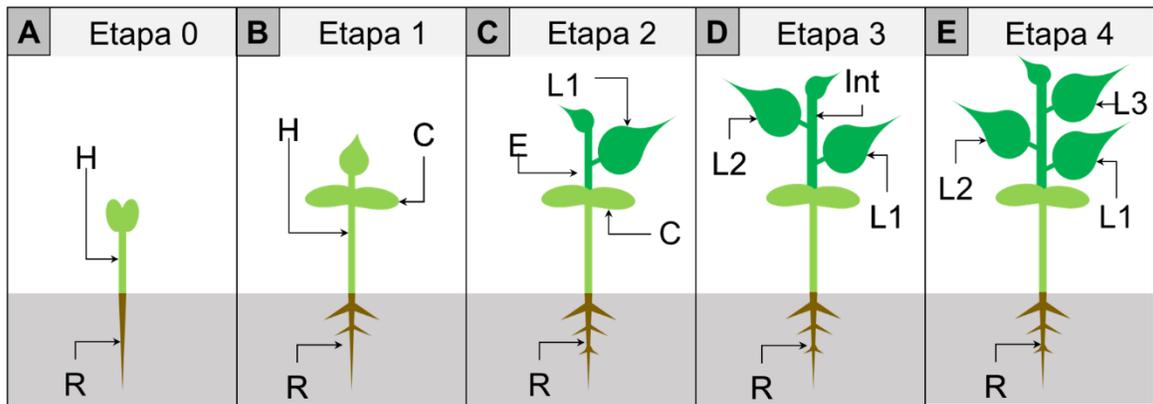


Figura 3. Esquema que ilustra las etapas definidas para plántulas con germinación epigea. R=Radícula, H=hipocótilo, E=Epicótilo, C=Cotiledones, L1=Hoja 1, L2=Hoja 2, L3=Hoja 3, Int=Internodo.

que se identificaron a partir de la expansión total de algunas estructuras, como se explica a continuación (Figura 3; Figura 4):

- **Etapa 0:** se caracteriza por la germinación de la semilla y el inicio en el desarrollo incipiente de la radícula, tallos y cotiledones (Figura 3A y Figura 4A).
- **Etapa 1:** comienza después de la germinación con el desarrollo de las raíces primarias, la expansión de los tallos de soporte (epicótilo o hipocótilo) y las estructuras cotiledonares (Figura 3B y Figura 4B).
- **Etapa 2:** se caracteriza por la expansión completa de la primera lamina foliar y el inicio en la expansión del segundo nodo foliar (Figura 3C y Figura 4C).
- **Etapa 3:** se caracteriza por la expansión completa de la segunda lámina foliar y el inicio en la expansión del tercer nodo foliar (Figura 3D y Figura 4D).
- **Etapa 4:** se da la expansión completa de la tercera lámina foliar y el inicio en la expansión del cuarto nodo (Figura 3E y Figura 4E).

Para la descripción morfológica en cada fase se extrajeron entre 5 y 10 especímenes obtenidos a partir de las pruebas de germinación con el fin de observar variaciones en forma y tamaño de las plántulas dentro de la especie. Cuando no fue posible obtener un número abundante de especímenes, los datos registrados y las descripciones se basaron en los existentes.

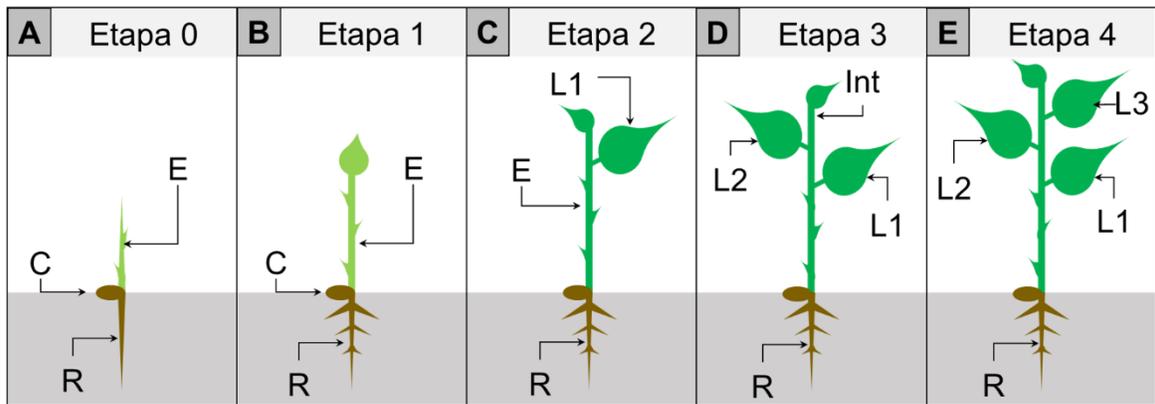


Figura 4. Esquema que ilustra las etapas definidas para plántulas con germinación hipogea. Elaboración propia. R=Radícula, E=Epicótilo, C=Cotiledones, L1=Hoja 1, L2=Hoja 2, L3=Hoja 3, Int=Internodo.

4.6. Caracteres y estados de carácter

Se registraron caracteres morfológicos específicos de raíz, hipocótilo, cotiledones, epicótilo y hojas en cada una de las especies estudiadas. Para ello, se elaboraron 341 caracteres cuantitativos y cualitativos con sus respectivos estados de carácter con base en literatura especializada en morfología (Ash, et al., 1999; Simpson, 2010) y se tomó como referencia el glosario ilustrado de Garwood (2009). De estos caracteres, utilizados para la elaboración de las descripciones morfológicas y la clave taxonómica, se usaron 2 caracteres generales, 4 para raíz, 20 para el hipocótilo, 56 para cotiledones, 21 para epicótilo, 224 para las hojas hasta el cuarto nodo foliar (56 para cada hoja) y 14 para los internodos.

Estos caracteres fueron evaluados con ayuda de un estereoscopio y se recopilaron en una base de datos en Excel®. Además, se realizó un registro fotográfico de la plántula en cada estadio y se tomaron fotografías de estructuras particulares de importancia para la identificación.

4.7. Análisis estadísticos

Se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de verificar la significancia estadística de algunas relaciones entre conjuntos de datos específicos con ayuda del programa PAST versión 4.01 (2020). Para probar si la distribución de los

porcentajes entre los tipos de plántulas era significativamente diferente, se usó una prueba *Epps-Singleton* de distribución no paramétrica. Se aplicó una corrección debido a que la muestra era pequeña. También se utilizó una prueba de hipótesis para evaluar la asociación entre el tipo de plántula y el tipo de bosque ($p=0,05$).

4.8. Clave taxonómica

La clave taxonómica incluida se elaboró con base en la información obtenida de especímenes frescos, con ayuda del software especializado DELTA (*Description Language for Taxonomy*); la clave se presenta en el **¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia..**

4.9. Colección de referencia de plántulas

Se tomaron muestras de herbario a partir de las plántulas obtenidas en vivero y se incluyeron en la colección del herbario HUCO para conformar la primera colección de referencia de plántulas de bosques altoandinos. Se incluyeron solo plántulas que conservaran la mayor cantidad de características observables y que permitiera su posterior consulta y revisión en la colección de herbario.

5. Resultados

En el presente estudio se realizó una descripción morfológica detallada de plántulas de 54 especies de bosques montanos en el Oriente antioqueño (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) teniendo en cuenta los caracteres previamente establecidos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Estas especies están representadas por 28 familias de angiospermas, de las cuales Rubiaceae y Fabaceae son las más características con respecto al número de especies (con 5 especies cada una), seguidas por la familia Ericaceae (4), Asteraceae (3), Campanulaceae (3) y Lauraceae (3). Así mismo, la mayoría de las familias presentaron entre 1 y 2 especies. Además, se incluyeron dos especies de gimnospermas de las familias Podocarpaceae y Pinaceae. Las especies incluidas en este trabajo incluyeron 22 plantas de hábito arbóreo, 16 arbustos, 8 herbáceas y 8 lianas.

Teniendo en cuenta las coberturas identificadas en los recorridos de campo y clasificadas según el grado de intervención antrópica, se obtuvieron 32 especies correspondientes al 61,5% del total, habitando en bosques naturales fragmentados y 20 especies, correspondientes al 38,5%, en bosques naturales densos. Además, se incluyeron 4 especies catalogadas como invasoras, comunes en el área de estudio (Cárdenas-López, Baptiste, & Castaño, 2017).

Se describe por primera vez la morfología de plántulas de especies de bosques altoandinos, tales como: *Blakea quadrangularis* (Melastomataceae), *Cavendishia bracteata* (Ericaceae), *Centropogon ferrugineus* (Campanulaceae), *Macrocarpea macrophylla* (Campanulaceae), *Myrsine coriacea* (Primulaceae) y *Spirotheca rosea* (Malvaceae).

5.1. Análisis de la germinación de semillas

De las 163 especies con frutos y semillas que se sometieron a ensayos de germinación en este estudio, se obtuvieron plántulas de 54 especies, lo que representa un éxito de propagación del 33,13% (en el **¡Error! No se encuentra el**

rigen de la referencia.) Las observaciones generales de los porcentajes de germinación obtenidos muestran que 17 especies (31,5%) presentaron un porcentaje mayor al 80% y 13 especies (24,1%) presentaron un porcentaje menor al 20%. Además, ocho especies (14,8%) presentaron un porcentaje de germinación entre el 20 y el 40%, diez (18,5%) presentaron un porcentaje entre 40 y 60% y seis (11,1%) presentaron un porcentaje entre el 60 y 80% (Figura 5A).

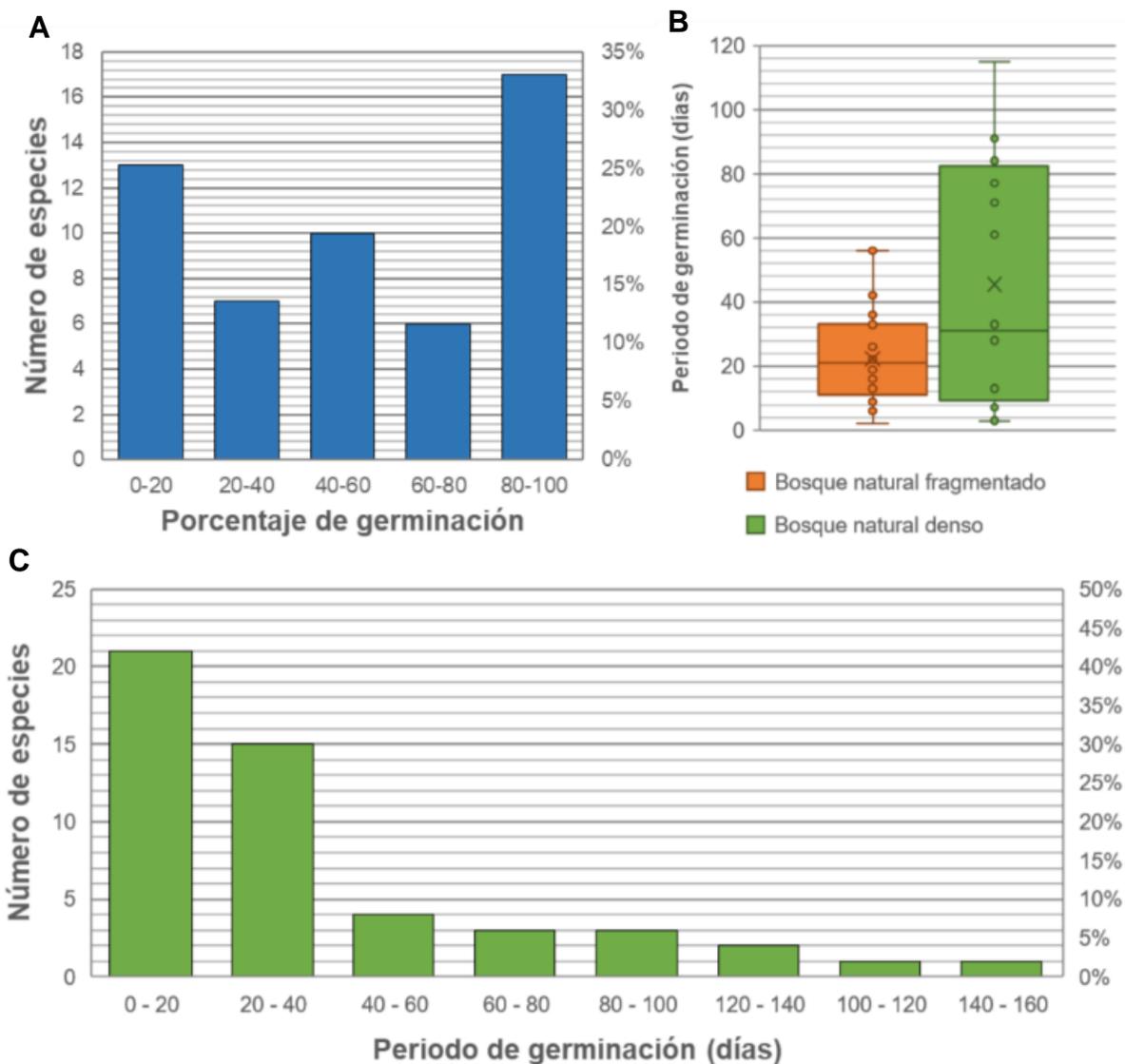


Figura 5. Porcentajes y tiempos de germinación. **A.** Porcentajes de germinación de las especies de plantas en estudio. los porcentajes se presentan en intervalos de frecuencia. **B.** Comparación del rango en el tiempo de germinación para especies de bosques naturales fragmentados y bosques naturales densos. Se excluyen los datos atípicos. **C.** Tiempo transcurrido hasta la germinación de las semillas. El tiempo se presenta en intervalos de 20 días.

La evaluación del proceso de germinación incluyó el tiempo transcurrido hasta la germinación de las especies (en días), también llamado periodo de germinación, para 50 especies. Se encontró que 21 especies (42%) tienen un periodo de germinación menor a 20 días y 15 especies (30%) tienen un periodo de germinación entre 20 y 40 días. También se observó que cuatro especies (8%) poseen un periodo de germinación entre 40 y 60 días, tres (6%) entre 60 y 80 días, tres (6%) entre 80 y 100 días, una (2%) entre 100 y 120 días, dos (4%) entre 120 y 140 días y una (2%) entre 140 y 160 días (Figura 5C).

Los datos obtenidos para el periodo de germinación de especies de bosques naturales fragmentados y bosques naturales densos se agruparon para observar la variación en este periodo y realizar comparaciones según lo obtenido para cada grupo. Las especies de bosques naturales fragmentados presentaron un periodo de germinación entre 2 y 56 días con una media de 17,93 días, mientras que las especies de bosques naturales densos presentaron un tiempo de germinación entre 3 y 115 días con una media de 26,69 días. La evaluación del periodo de germinación presentó datos atípicos en algunos casos, por ejemplo, en bosques naturales fragmentados se presentó un periodo de 124 días para la germinación de *Myrsine coriacea* (Primulaceae) y 159 días para *Cordia acuta* (Boraginaceae). Para bosques naturales densos se presentó un periodo de 115 días para *Drymis granadensis* (Winteraceae) y 253 días para *Retrophyllum rospigliosii* (Podocarpaceae) (Figura 5B).

5.2. Caracteres morfológicos

Se registraron caracteres morfológicos específicos de raíz, hipocótilo, cotiledones, epicótilo y hojas. Se codificaron 341 caracteres cuantitativos y cualitativos con sus respectivos estados de carácter con base en literatura especializada en morfología (Ash, et al., 1999; Simpson, 2010) y se tomó como referencia el glosario ilustrado de Garwood (2009). De estos caracteres, utilizados para la elaboración de las descripciones morfológicas y la clave taxonómica, se usaron 2 caracteres generales, 4 para raíz, 20 para el hipocótilo, 56 para cotiledones, 21 para epicótilo,

224 para las hojas hasta el cuarto nodo foliar (56 para cada hoja) y 14 para los internodos los cuales se presentan en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Las plántulas se evaluaron según los caracteres definidos y se identificaron algunas estructuras que, debido a su variabilidad morfológica, representan mayor relevancia en la determinación taxonómica. A continuación, se presentan los caracteres relevantes para la diferenciación entre especies y géneros a nivel de plántulas.

5.2.1. Morfología de cotiledones

Durante el proceso de descripción, las plántulas se clasificaron según el tipo de germinación en *plántulas con cotiledones epigeos* y *plántulas con cotiledones hipogeos*. Esto debido a que los cotiledones tienden a presentar características particulares dependiendo de su posición con respecto a la superficie del suelo. Según el tipo de germinación, el 85,2% de las plántulas, correspondientes a 47 especies, presentó germinación epigea (Figura 6A y B) y el 14,7%, correspondientes a 7 especies, presentó germinación hipogea (Figura 6C).

5.2.1.1. Cotiledones epigeos

Todas las *plántulas con germinación epigea* presentaron cotiledones fanerocotilares y se identificaron dos tipos de cotiledones dentro de este grupo según su textura y grosor: cotiledones *foliáceos* y *de reserva*. El tipo más frecuente fue el de cotiledones foliáceos con una representatividad del 82,6%, correspondiente a 42 especies, sobre un 17,4% de las plántulas con cotiledones de reserva, correspondiente a 5 especies. Además, se observó que todas las especies de angiospermas con *plántulas con cotiledones epigeos* y de reserva pertenecían a tres géneros de la familia Fabaceae (*Abarema*, *Mimosa* y *Ulex*). Por otro lado, las *plántulas con germinación hipogea* presentaron un solo tipo de cotiledones según su textura y grosor: cotiledones de reserva.

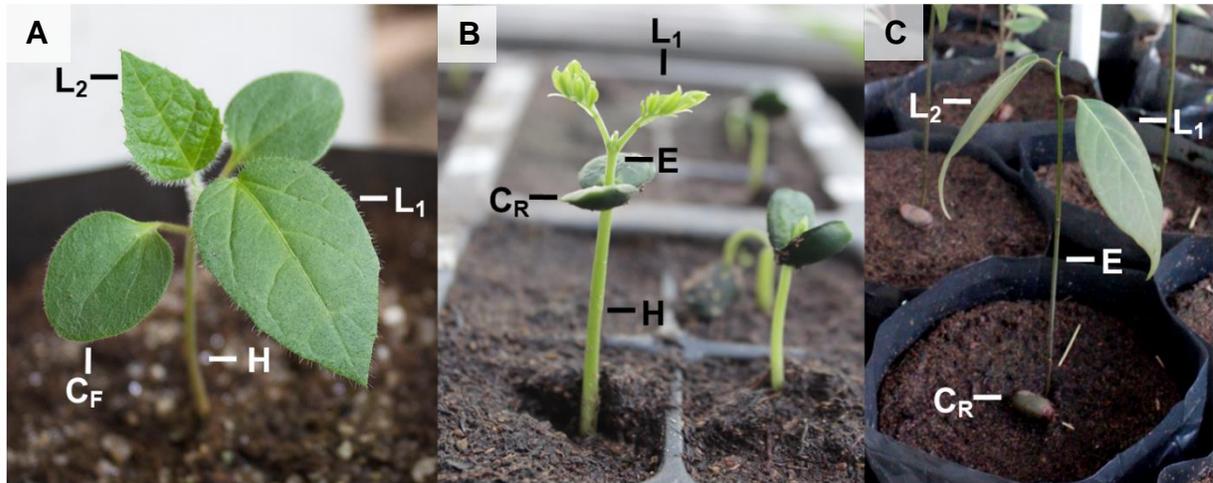


Figura 6. Plántulas de tres especies de bosques altoandinos. A. Plántula de *Croton magdalenensis* con germinación epigea y cotiledones foliáceos. B. Plántula de *Abarema lehmannii* con germinación epigea y cotiledones de reserva. C. Plántula de *Aniba perutilis* con germinación hipogea y cotiledones de reserva. CF=Cotiledones foliáceos, CR=Cotiledones de reserva, H=Hipocótilo, E=Epicótilo, L1=Primera hoja, L2=Segunda hoja.

Algunos de los caracteres utilizados para la diferenciación de este grupo de plántulas con germinación epigea son: la forma de la lámina, las formas del ápice y de la base, la venación, las características del margen, la similaridad y la simetría entre los dos cotiledones. Con respecto a la forma de la lámina, este grupo de plántulas presentó cotiledones ovados (43,5%) y elípticos (30,4%) en una mayor proporción, como es el caso de algunas especies de Fabaceae o especies del género *Miconia* (Melastomataceae), respectivamente (**¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia.**), mientras que otras formas resultaron ser menos frecuentes: cotiledones oblongos (17,4%), obovados (4,3%) y triangulares (4,3%; Figura 7). La forma del ápice de la lámina cotiledonar que fue más representativo dentro de este grupo de plántulas fue el redondeado (50%), mientras que las formas: aguda (18,2%), indentada (13,7%), truncada (13,6%) y cuneada (4,5%) fueron menos comunes (Figura 8). Así mismo, la forma de la base más frecuente en los cotiledones fue la atenuada (54,5%), mientras que las formas redondeada (13,8%), truncada (13,7%), lobulada (9,1%), aguda (4,6%) y cuneada (4,4%) fueron menos frecuentes (Figura 9). Esta morfología se puede observar en *Vaccinium meridionale* (Ericaceae) o algunas especies del género *Palicourea* (Rubiaceae).

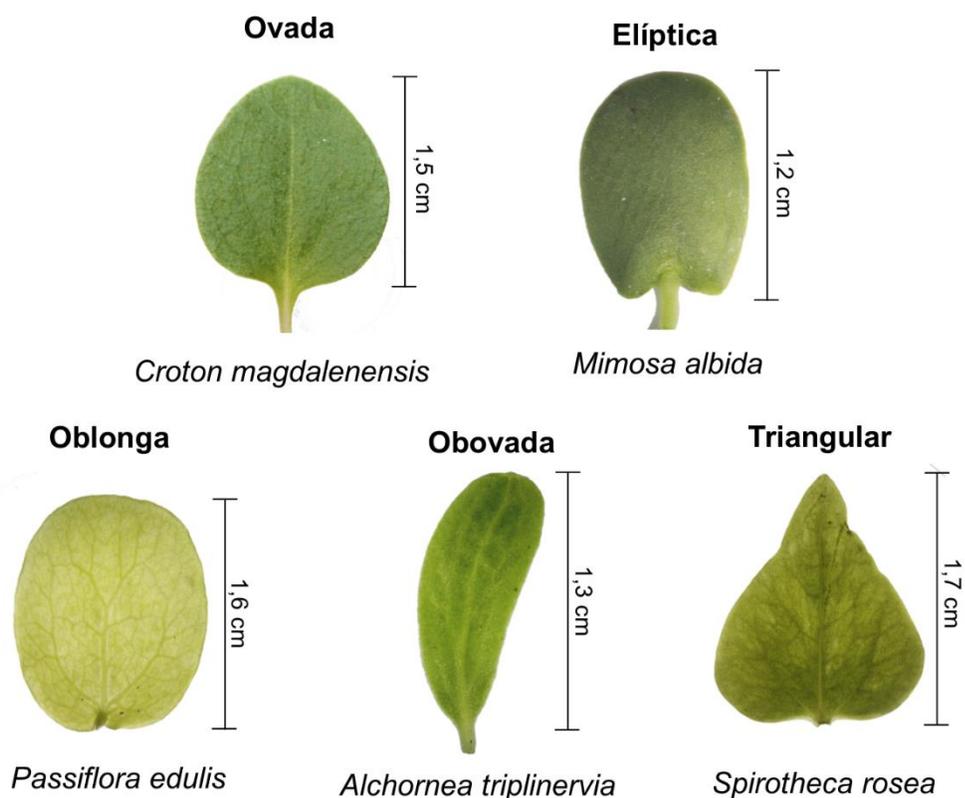


Figura 7. Formas de la lámina de los cotiledones de cinco especies de bosques altoandinos. *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) posee además una lámina asimétrica. Las fotografías no están a escala; se presenta la longitud de cada lamina.

En cuanto a la venación de los cotiledones, se encontró que la mayoría (60,9%) de las láminas cotiledonares dentro de este grupo de plántulas (*germinación epigea con cotiledones foliáceos*) presentó una venación primaria conspicua con características variadas, mientras que el 39,1% de estas no presentó una venación notoria. Dentro de este grupo (con venación conspicua) se encontró que el 85,7% presentaba, además, una venación secundaria notoria y el 57,1% presentaba venación terciaria (Figura 10). Algunas de las especies que presentan estas características son *Spirotheca rosea* (Malvaceae), *Croton magdalenensis* (Euphorbiaceae) o *Palicourea apicata* (Rubiaceae).

Los resultados de la variación en la forma del margen mostraron que el 95,7% de las plántulas presentaron cotiledones con margen entero, entre estas, especies de

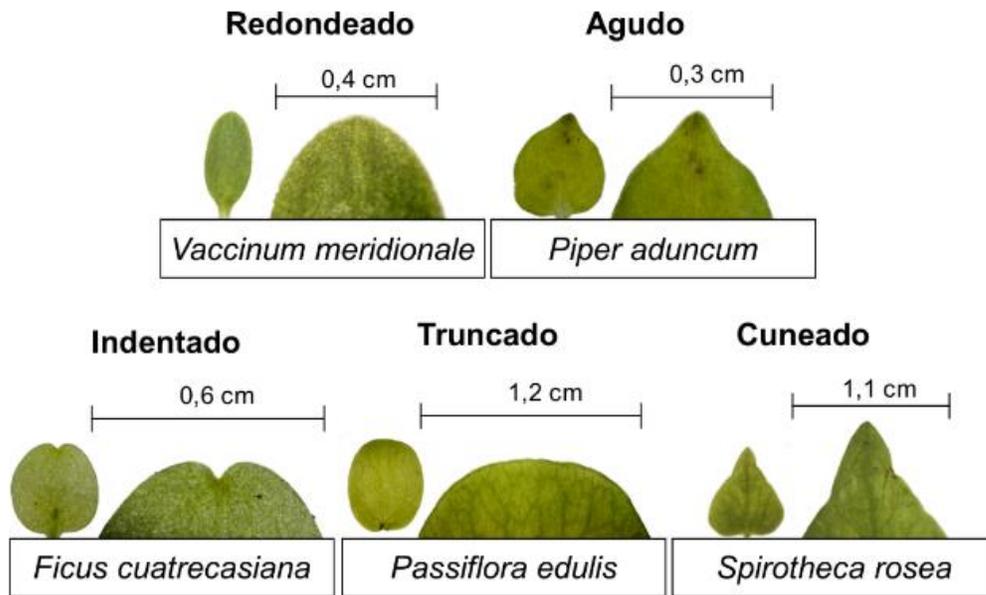


Figura 8. Forma del ápice de los cotiledones de cinco especies de bosques altoandinos. Se presenta el ancho de la lámina cotiledonar debido a que las fotografías no están a escala.

Rubiaceae, Fabaceae y Melastomataceae, mientras que el resto (4,3%) presentaron margen con indentación de algún tipo como en el caso de *Cordia acuta* (Boraginaceae; Figura 10). Por otro lado, la presencia de estipulas resultó ser poco frecuente en los cotiledones (16%) ya que la mayoría de las plántulas (84%) no presentó este tipo de estructuras (Figura 11). Todas las especies cuyos cotiledones presentaron estipulas pertenecen a la familia Rubiaceae. Además, el 15,4% de las especies presentaron láminas cotiledonares con pubescencia en alguna sección de la superficie de esta estructura.

Las láminas cotiledonares pueden clasificarse en monomórficas o dimórficas según el grado de similitud morfológica entre las dos láminas cotiledonares (**¡Error! No e encuentra el origen de la referencia.**). Los resultados indicaron que una baja proporción (11,1%) de las plántulas presentaron diferencias en tamaño, forma o simetría, en tanto que la mayoría (88,9%) presentaron cotiledones monomórficos (Figura 12). Por otro lado, cada uno de los cotiledones puede ser evaluados según la simetría de la lámina. En este sentido, una baja proporción de plántulas presentaron cotiledones con láminas asimétricas (14,8%) pues el mayor porcentaje

de estas presentaron laminas con simetría bilateral (Figura 12C y D). Entre las especies cuyas plántulas presentaron cotiledones disimiles en algún grado y/o con láminas asimétricas se encuentran *Drymis granadensis* (Winteraceae) (Figura 12D), *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) con cotiledones dimorficos (con cotiledones especulares) y asimétricos (Figura 12C), y *Phytolacca rugosa* (Phytolaccaceae) con cotiledones dimorficos en tamaño (Figura 12A).

5.2.1.2. Cotiledones hipogeos

Las plántulas con germinación hipogea (13%) también presentaron características variadas a nivel de los cotiledones. Dentro de este grupo se observaron cotiledones que conservaron la testa seminal después de la germinación (criptocotilares) en un 83,3% en tanto las plántulas con cotiledones fanerocotilares representaron la menor proporción (16,7%) (Figura 13). Así mismo, se observaron plántulas con cotiledones ubicados por debajo de la superficie del suelo en una mayor proporción (66,7%) mientras que otras especies presentaron cotiledones ubicados justo sobre la

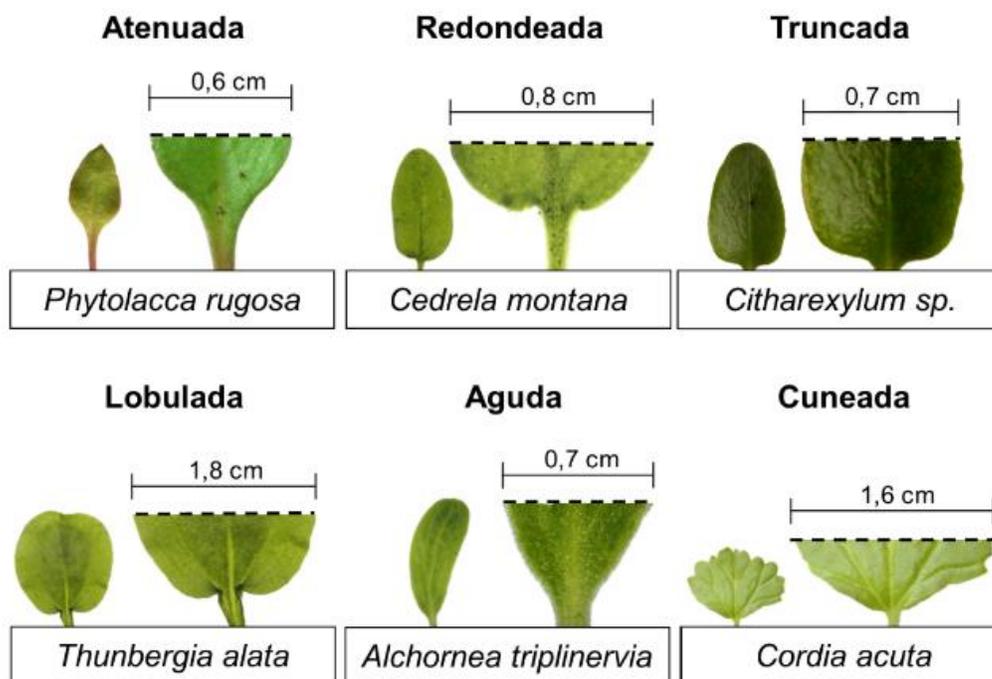


Figura 9. Forma de la base de los cotiledones de seis especies de bosques altoandinos. Se presenta el ancho de la lámina cotiledonar debido a que las fotografías no están a escala.

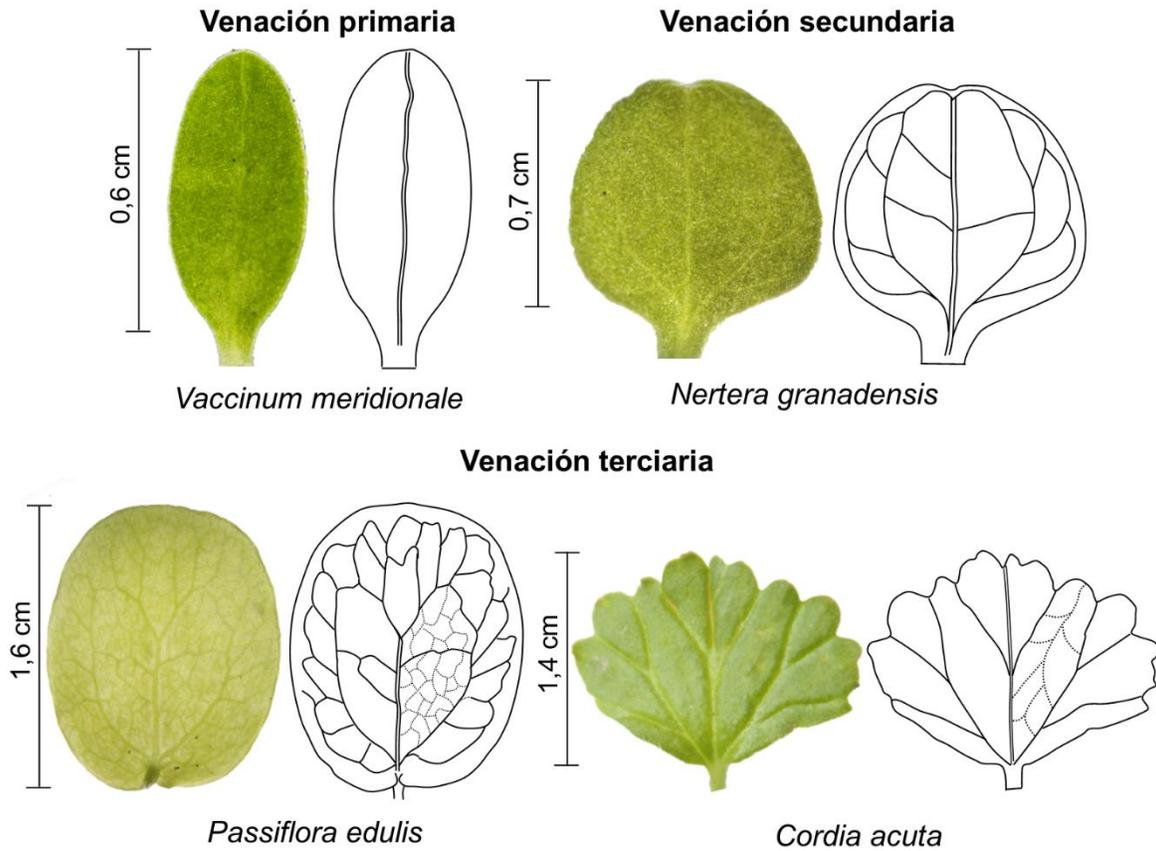


Figura 10. Presencia de venación primaria, secundaria y/o terciaria en cotiledones de cuatro especies de bosques altoandinos. Venación primaria=líneas paralelas, Venación secundaria=línea continua, Venación terciaria=línea punteada. Se presenta la longitud de la lámina cotiledonar, debido a que las fotografías no están a escala.

superficie del suelo (33,3%). Este tipo de cotiledones presentó una forma principalmente elipsoidal (57,1%), aunque los cotiledones circulares también fueron frecuentes (42,9%). Se observó también que solo algunas plántulas presentaron cotiledones hipogeos con peciolo (14,3%) en tanto la mayoría no presentaron esta estructura (85,7%). Se destaca que un gran porcentaje de plántulas hipogeas hacen parte de la familia Lauraceae (Figura 14).

5.2.2. Morfología de las primeras hojas

Las hojas jóvenes de una plántula pueden clasificarse como protofilas o metafilas según el grado de similitud con respecto a las hojas de estadios adultos y la presencia de transición morfológica entre las primeras hojas que se desarrollan en

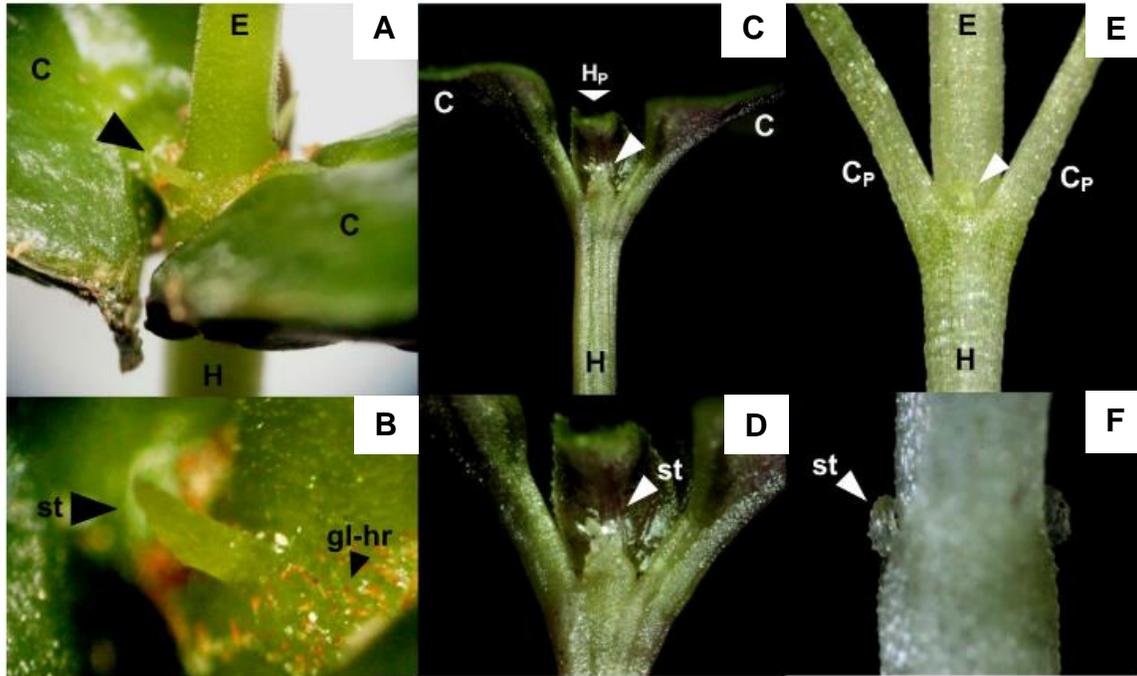


Figura 11. Presencia de estipulas en el nudo cotiledonar de tres especies de bosques altoandinos. **A.** Vista frontal del nudo cotiledonar de *Abarema lehmannii* (Fabaceae). **B.** Estipula espiniforme interpetiolar de *Abarema lehmannii* con tricomas glandulares rodeando la estipula. **C.** Vista frontal del nudo cotiledonar de *Palicourea angustifolia*. (Rubiaceae). **D.** Estipula Foliar interpetiolar (bífida) de *Palicourea angustifolia*. **E.** Vista frontal del nudo cotiledonar de *Nertera granadensis* (Rubiaceae). **F.** Estipulas espiniformes interpetiolar en vista lateral de *Nertera granadensis*. C=Cotiledones, Cp=Peciolo cotiledonar, H=Hipocótilo, E=Epicótilo, Hp=Prefoliación de las primeras hojas, st=Estipula, gl-hr=tricoma glandular.

una plántula. Las especies analizadas presentaron una mayor proporción de plántulas con presencia de esta transición (66,7%) mientras un 33,3% no presentó protofilas (Figura 15A y B). Además, hubo un cambio en la filotaxia entre el primer y el segundo nodo foliar en algunas especies: de hojas opuestas en el primer nodo foliar a hojas alternas en nodos subsecuentes. Este fenómeno se presentó en las plántulas estudiadas en un 21,4% en tanto que el resto no presentó un cambio en su filotaxia (78,6%; Figura 16A, B y C).

Por otro lado, se observaron fenómenos particulares en algunas especies. Se reportan con baja frecuencia (3,4%) algunas de las plántulas que desarrollaron

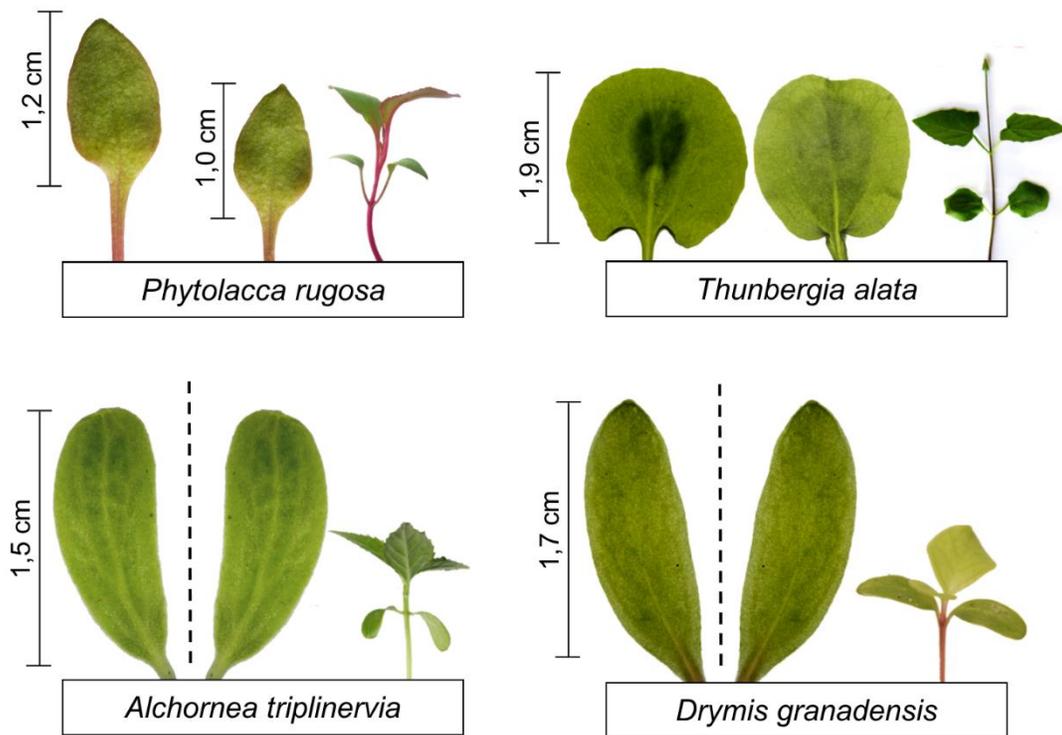


Figura 12. Similitud y simetría en cotiledones de cuatro especies. **A.** Cotiledones dimórficos en tamaño de *Phytolacca rugosa* (Phytolaccaceae). **B.** Cotiledones dimórficos en forma de *Thunbergia alata* (Acanthaceae). **C.** Cotiledones especulares de *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) con láminas asimétricas. **D.** Cotiledones especulares de *Drymis granadensis* (Winteraceae) con láminas asimétricas.

hojas simples en el primer nodo foliar y que presentaron hojas compuestas en nodos subsecuentes. Un ejemplo de este fenómeno es el de las especies de la familia Bignoniaceae como *Tecoma stans*, que presenta hojas simples en el primer nodo y hojas compuestas trifoliadas en el segundo nodo foliar. Para el caso de las plántulas que presentaron hojas compuestas en todos sus estadios (7,6%) se observó un incremento en el número de folíolos al comparar los primeros nodos foliares con los subsiguientes. Este fue el caso de *Cedrela montana* (Meliaceae), y algunas especies de la familia Fabaceae como *Abarema lehmannii*, *Ormosia colombiana* y *Mimosa albida* (Figura 15C y D).

La evaluación de la variación morfológica de las primeras hojas en *plántulas con germinación hipogea* no mostró un cambio significativo en caracteres como: la forma

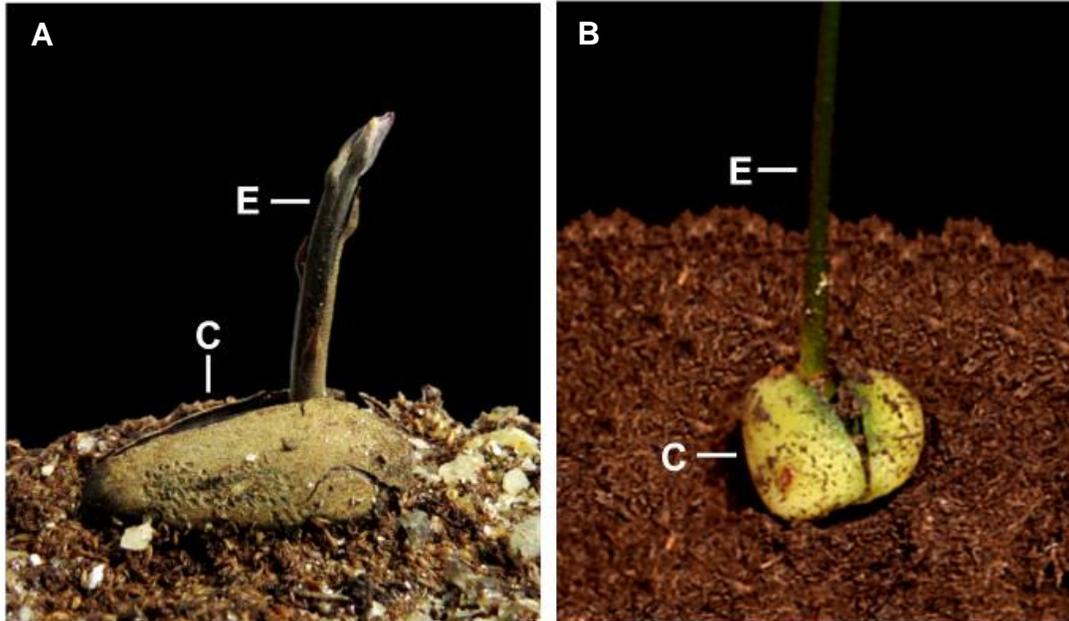


Figura 13. Cotiledones de plántulas hipogeas de dos especies de bosques altoandinos según el grado de exposición con respecto a la testa seminal. **A.** Plántula de *Aniba perutilis* (*Lauraceae*) con cotiledones criptocotilares. **B.** Plántula de *Ormosia colombiana* (*Fabaceae*) con cotiledones fanerocotilares. C=Cotiledones. E=Epicótilo.

de la lámina, del ápice, de la base, o del margen, presencia y tipo de venación, entre otros.

5.2.3. Morfología del tallo: hipocótilo y epicótilo

Los tallos presentaron una variación morfológica significativa: las características de la epidermis fueron las más relevantes en este caso. En cuanto a la presencia de pubescencia en el hipocótilo, se encontró una mayor frecuencia de plántulas con hipocótilos glabros (71,4%) mientras que una menor proporción presento tricomas de algún tipo (28, 6%; Figura 17B y H). Dentro de este último grupo, el 83,3%

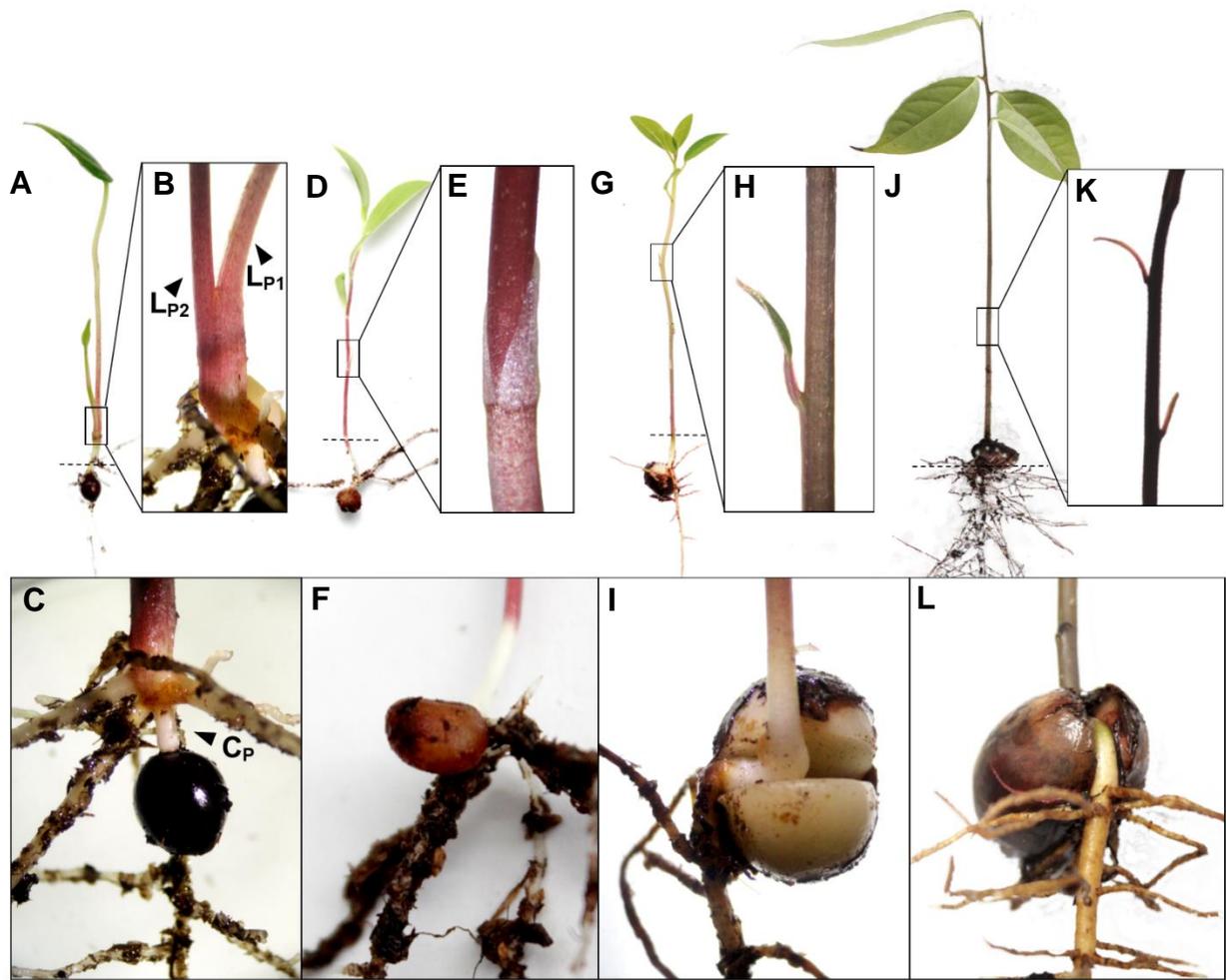


Figura 14. Morfología de plántulas hipogreas de cuatro especies de bosques altoandinos. **A.** Plántula de *Smilax tomentosa* (Smilacaceae). **B.** Acercamiento al tallo de la plántula de *Smilax tomentosa*. Esta plántula posee un epicótilo reducido (a veces ausente) y no presenta catáfilas. Se resaltan los peciolo de la primera y la segunda hoja (LP1 Y LP2). **C.** Cotiledón esférico de *Smilax tomentosa* con peciolo cotiledonar (CP). **D.** Plántula de *Bomarea bredemayerana* (Alstroemeriacae). **E.** Acercamiento al epicótilo de *Bomarea bredemayerana* con catáfila escamosa envainante. **F.** Cotiledón elipsoidal de *Bomarea bredemayerana*. El cotiledón no presenta peciolo cotiledonar. **G.** Plántula de *Persea chrysophylla* (Lauraceae). **H.** Acercamiento al epicótilo de *Persea chrysophylla* con catáfila foliácea. **I.** Cotiledones semiesféricos de *Persea chrysophylla*. Estos cotiledones no presentan peciolo y en algunos casos están expuestos debido a que la testa seminal se cae parcialmente. **J.** Plántula de *Aniba perutilis* (Lauraceae). **K.** Acercamiento al epicótilo de *Aniba perutilis* con catáfilas escamosas. **L.** Cotiledones semi-elipsoidales de *Aniba perutilis*. Estos cotiledones no presentan peciolo.

presentó tricomas simples y el 16,7% presentó tricomas complejos. Por otro lado, el 57,1% de las plántulas presentó pubescencia en el epicótilo mientras que el 42,9% poseían epicótilos con una superficie glabra (Figura 17D, E y F). Dentro del grupo de plántulas con epicótilos pubescentes se encontraron 90,9% con tricomas simples y 9,1% con tricomas complejos.

Se encontró que la textura de la superficie de los tallos presentó una variación significativa entre las diferentes especies en estudio. En el hipocótilo se observaron superficies tuberculadas (14,3%), rugosas irregulares (14,2%), con protuberancias (13,4%) y esculpidas (7,1%), aunque se encontró una superficie lisa en mayor proporción (51,0%; Figura 17C, M, N y O). Por otro lado, el 76,5% de las plántulas presentaron epicótilos con superficies lisas, aunque también se observaron epicótilos con puntos glandulares (17,6%) y con la superficie esculpida (5,9%; Figura 17J, Q y R). Además, *Cedrela montana* (Meliaceae) presentó lenticelas tanto en el hipocótilo como en el epicótilo (Figura 16E, D y F).

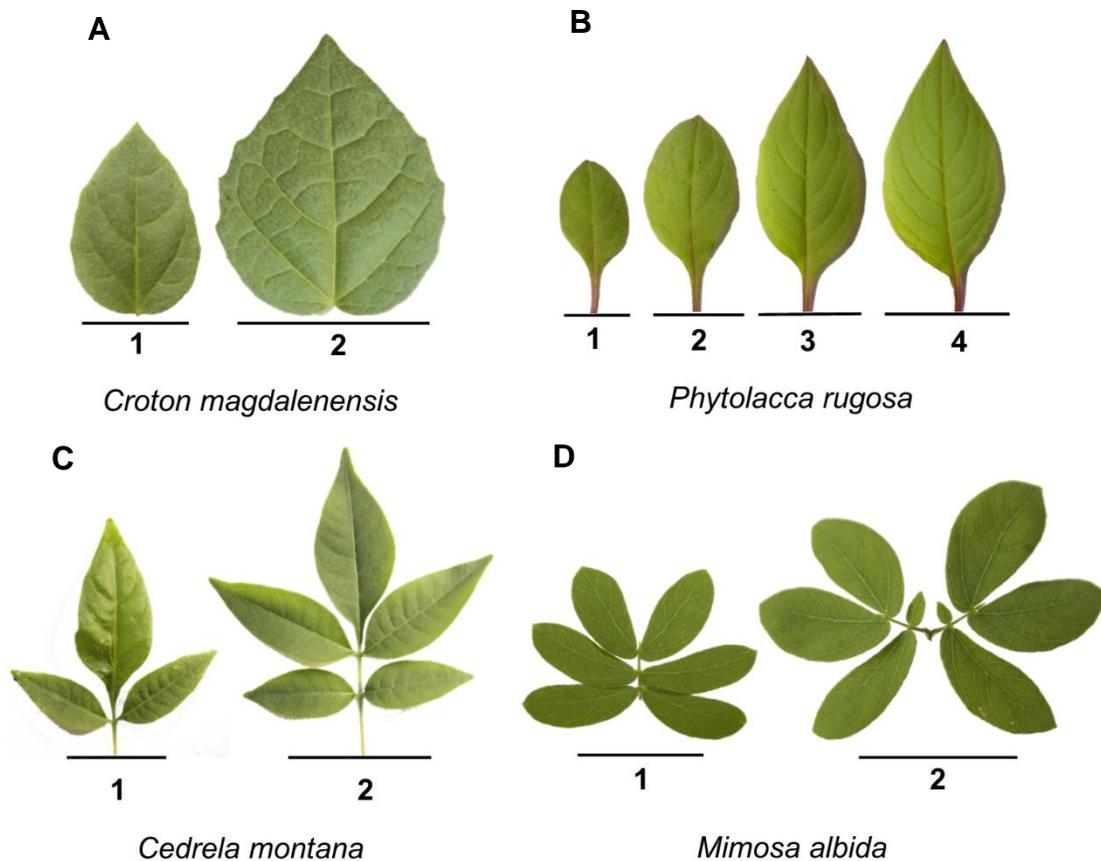


Figura 15. Variación morfológica en las primeras hojas de plántulas de cuatro especies de bosques altoandinos. **A.** transición morfológica entre la primera y la segunda hoja de *Croton magdalenensis* (Euphorbiaceae), se presentan diferencias en venación, forma de la base de la hoja y la forma del margen. **B.** Transición morfológica entre las primeras cuatro hojas de *Phytolacca rugosa* (Phytolaccaceae). Se presentan diferencias en venación, forma de la lámina, del ápice y de la base. **C.** Variación en el número de folíolos entre la primera y la segunda hoja de la plántula de *Cedrela montana* (Meliaceae). La primera hoja presenta 3 folíolos y la segunda, 5 folíolos. **D.** Variación en el número de folíolos entre la primera y la segunda hoja de la plántula de *Mimosa albida* (Fabaceae). La primera hoja es pinada con 6 folíolos y la segunda es bipinada con 8 folíolos.

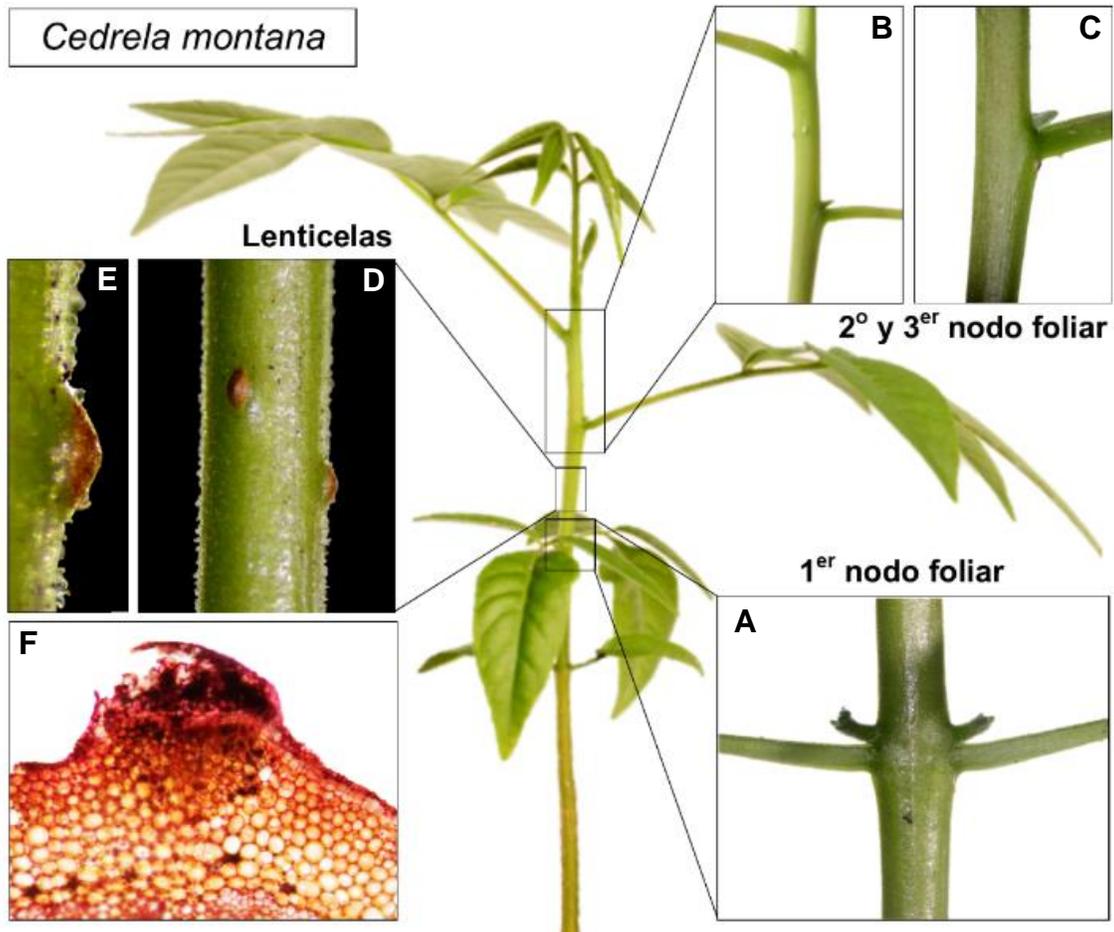


Figura 16. Plántula de *Cedrela montana* (Meliaceae). **A.** Primer nodo foliar de *Cedrela montana* con hojas opuestas. **B.** Segundo y tercer nodo foliar de *Cedrela montana* con hojas alternas. **C.** Acercamiento al segundo nodo foliar de *Cedrela montana*. **D.** Internodo de *Cedrela montana* con presencia de lenticelas. **E.** Acercamiento a lenticela de *Cedrela montana*. **F.** Corte transversal de lenticela.

Las plántulas de algunas especies también presentaron engrosamientos en la base del hipocótilo, sin embargo, fue poco frecuente (9,6%). Dentro de este grupo se observaron algunas especies con engrosamientos de almacenamiento, entre estas, *Spirotheca rosea* (Malvaceae) y *Clusia discolor* (Clusiaceae; Figura 18).

Cabe resaltar que todas las especies de plántulas con cotiledones hipogeos (13%) presentaron catáfilas en la superficie del epicótilo, con morfologías variadas (Figura 14E, H y K).

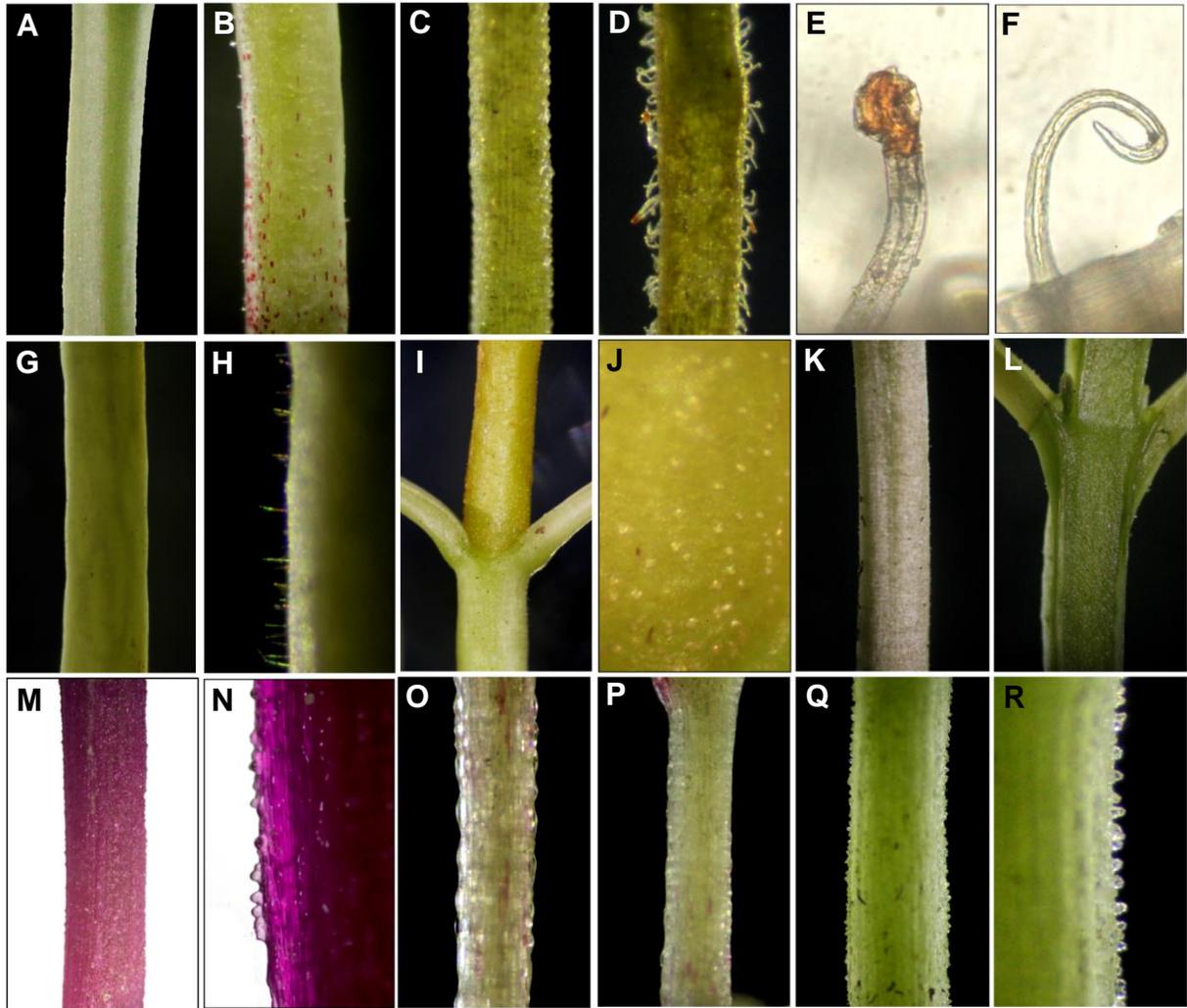


Figura 17. Comparación de la variación en la epidermis de los tallos (hipocótilo y epicótilo). **A.** hipocótilo glabro con epidermis lisa de *Passiflora edulis* (Passifloraceae). **B.** Epicótilo con pubescencia escasa de tricomas muy cortos y manchas rojizas de *Passiflora edulis*. **C.** Hipocótilo con epidermis rugosa de *Vaccinium meridionale* (Ericaceae). **D.** Epicótilo con epidermis lisa y pubescencia densa de tricomas glandulares y curvados de *Vaccinium meridionale*. **E.** Tricoma glandular en el epicótilo de *Vaccinium meridionale*. **F.** Tricoma curvado en el epicótilo de *Vaccinium meridionale*. **G.** Hipocótilo con epidermis lisa de *Spirotheca rosea* (Malvaceae). **H.** Acercamiento de la epidermis del hipocótilo de *Spirotheca rosea*. Presenta pubescencia moderada de tricomas muy cortos. **I.** Epicótilo de color amarillo y glándulas sobre la epidermis de *Spirotheca rosea*. **J.** Acercamiento a la epidermis con glándulas de *Spirotheca rosea*. **K.** Hipocótilo terete de *Citharexylum subflavescens* (Verbenaceae) con epidermis lisa. **L.** Epicótilo cuadrangular de *Citharexylum subflavescens*. **M.** Hipocótilo de color violeta con epidermis rugosa irregular de *Phytolacca rugosa* (Phytolaccaceae). **N.** Acercamiento a la epidermis rugosa irregular de *Phytolacca rugosa*. **O.** Hipocótilo con protuberancias de *Viola stipularis* (Violaceae). Presenta algunas manchas rojizas. **P.** Epicótilo con epidermis lisa de *Viola stipularis*. Presenta algunas manchas rojizas. **Q.** Epicótilo con epidermis tuberculada de *Piper aduncun* (Piperaceae). **R.** Acercamiento a la epidermis tuberculada de *Piper aduncun*.

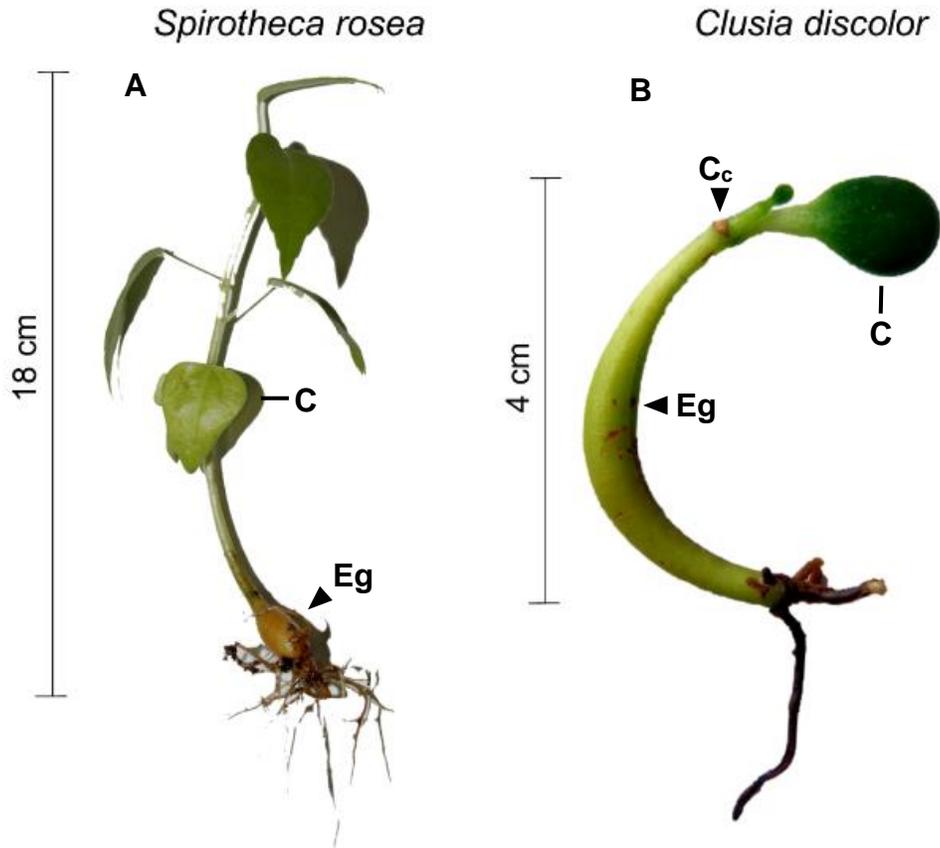


Figura 18. Engrosamientos en el hipocótilo de plántulas de dos especies de bosques altoandinos. **A.** Plántula con germinación epigea de *Spirotheca rosea* (Malvaceae) con engrosamiento en la base del hipocótilo. **B.** Plántula con germinación epigea de *Clusia discolor* (Clusiaceae) con engrosamiento en la sección intermedia del hipocótilo. C=Cotiledones, Eg=Engrosamiento, Cc=Cicatris del cotiledón.

5.3. Tipos morfológicos de plántulas

Las diferentes especies en estudio se agruparon según los cinco tipos morfológicos de plántulas, basándose en la posición, exposición y función de los cotiledones. Se encontró que la mayor proporción de plántulas se concentran en el tipo morfológico PEF con un 70,4% de especies, mientras que el 30% restante abarca los tipos morfológicos PER (14,8%), CHR (12,9%) y PHR (1,8%; Figura 19). No se encontraron representantes del tipo morfológico CER en este estudio. La prueba de distribución no arrojó diferencias significativas entre la distribución de tipos de plántulas para bosques altoandinos con respecto a la distribución observada a nivel neotropical. La similitud entre las dos distribuciones fue de 81,28% ($p=0,81289$). Así mismo, se evaluó la presencia de los grupos morfológico de plántulas en

bosques naturales fragmentados y bosques naturales densos con el objetivo de observar la distribución de estos en las dos coberturas (Tabla 1). Además, se utilizó una prueba de hipótesis para evaluar si existía alguna asociación entre los tipos de plántulas observados y el tipo de bosque. La prueba arrojó una asociación significativa entre las dos variables ($\chi^2=13,777$; $gl=3$; $P < 0,005$).

5.3.1. Plántulas de bosques naturales fragmentados

Se obtuvieron 32 especies presentes en bosques naturales fragmentados (61,5%). El grupo morfológico más frecuente es PEF (93,7%) aunque también se encontraron dos especies pertenecientes a los grupos PER y CHR.

5.3.2. Plántulas de bosques naturales densos

Se obtuvieron 20 especies presentes en bosques naturales densos (38,5%), entre ellas *Aniba perutilis*, *Spirotheca rosea*, y *Drymis granadensis*. Se encontró un mayor

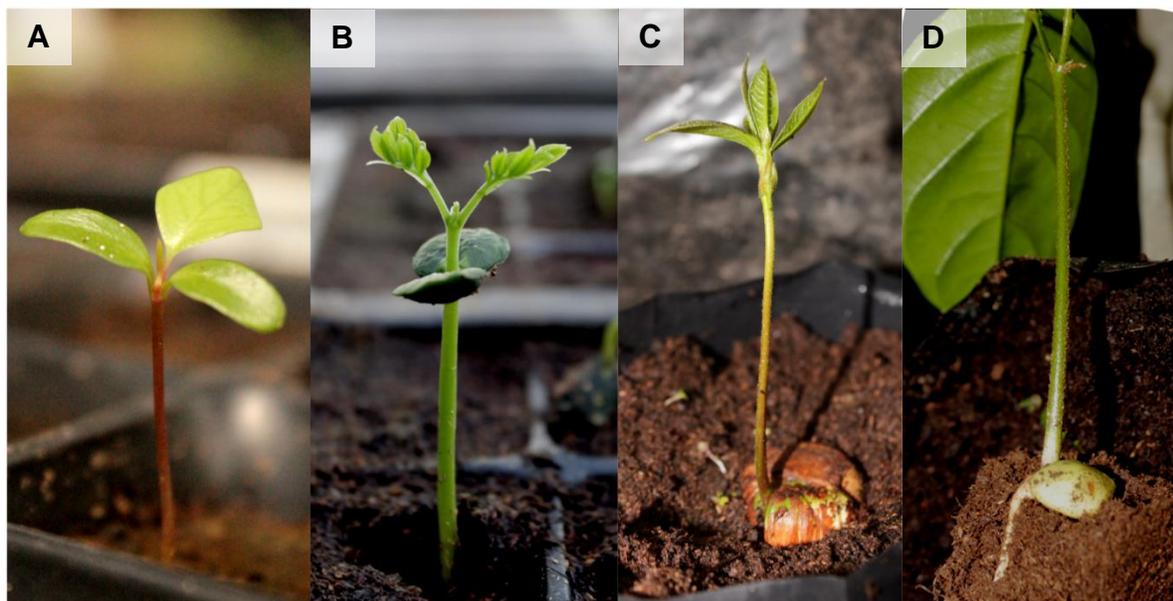


Figura 19. Tipos morfológicos de plántulas encontrados en bosques altoandinos. **A.** Plántula PEF (Fanerocotilar-Epigea-Foliacea) de *Drymis granadensis* (Winteraceae). **B.** Plántula PER (Fanerocotilar-Epigea-de Reserva) de *Abarema lehmannii* (Fabaceae). **C.** Plantula CHR (Criptocotilar-Hipógea-de Reserva) de *Quercus humboldtii* (Fagaceae). **D.** Plántula PHR (Fanerocotilar-Hipógea-de Reserva) de *Ormosia colombiana* (Fabaceae).

porcentaje de especies pertenecientes al grupo morfológico PEF (45%), aunque también hubo representatividad de los grupos PER (25%), CHR (25%) y CER (5%).

5.4. Plántulas de especies invasoras

Se incluyeron las descripciones de algunas especies introducidas: *Ulex europaeus*, *Thunbergia alata*, *Lantana cámara*, de las cuales *U. europeus* y *T. alata* presentan altos niveles de invasión en la región y efectos negativos sobre las poblaciones naturales (Castaño Lopez, et al., 2019). Estas plántulas se clasifican dentro de los grupos morfológicos PEF (*T. alata*) y PER (*U. europaeus* y *L. cámara*). Estas especies también presentaron caracteres en común, entre los que se destacan: presencia de pubescencia, densidad alta de tricomas en todas sus estructuras, un alto porcentaje de germinación y un periodo corto de germinación.

Tabla 1. Listado de especies incluidas en el estudio. BNF=Bosque natural fragmentado, BND=Bosque natural denso, CUL=Cultivada, INT=Intervenida. PEF=Plántula fanerocotilar-epigea-foliacea, PER=Plantula fanerocotilar-epigea-de reserva, CHR=plántula, PHR=Plántula fanerocotilar-hipogea-de reserva.

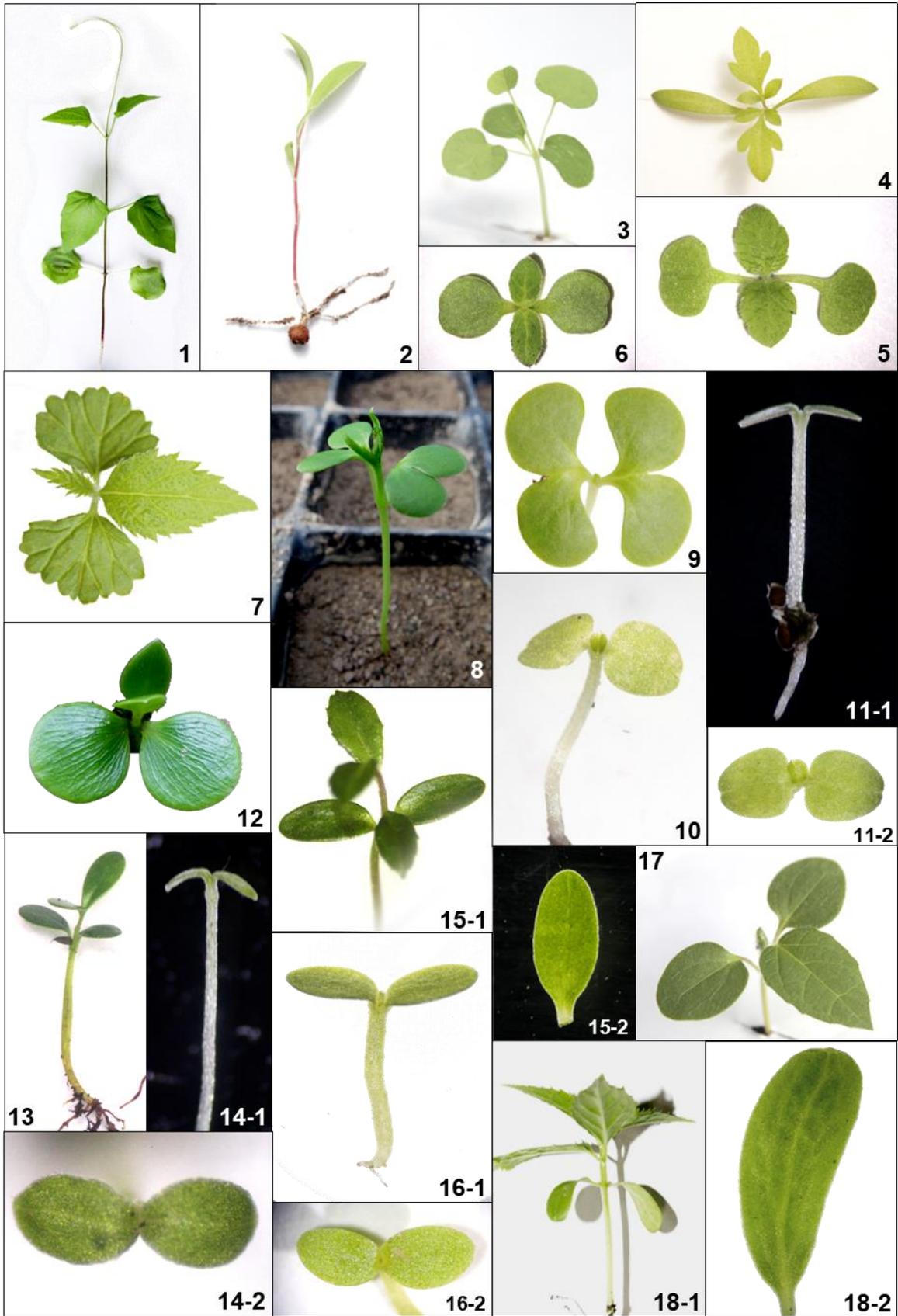
Familia	Nombre científico	Cobertura	Tipo morfol.	Habito de crecimiento
Acanthaceae	<i>Thunbergia alata</i>	INT	PEF	Trepadora
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea bredemayerana</i>	BNF	CHR	Trepadora
Aristolochiaceae	<i>Aristolochia sp. (1)</i>	INT	PEF	Trepadora
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	BNF	PEF	Hierba
	<i>Ageratina sp. (1)</i>	BNF	PEF	Hierba
	Asteraceae	BNF	PEF	Hierba
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	BNF	PEF	Árbol
	Bignoniaceae	BNF	PEF	Árbol
Boraginaceae	<i>Cordia acuta</i>	BNF	PEF	Arbusto
Campanulaceae	<i>Centropogon sp. (1)</i>	BNF	PEF	Trepadora
	<i>Centropogon sp. (2)</i>	BNF	PEF	Trepadora
Clusiaceae	<i>Clusia discolor</i>	BNF	PEF	Árbol
	<i>Clusia multiflora</i>	BNF	PEF	Árbol

Ericaceae	<i>Gaultheria erecta</i>	BNF	PEF	Arbusto
	<i>Vaccinum meridionale</i>	BNF	PEF	Arbusto
	<i>Cavendishia bracteata</i>	BNF	PEF	Arbusto
Euphorbiaceae	<i>Croton magdalenensis</i>	BNF	PEF	Árbol
	<i>Alchornea triplinervia</i>	BND	PEF	Árbol
Fabaceae	<i>Abarema lehmannii</i>	BND	PER	Árbol
	<i>Mimosa albida</i>	BNF	PER	Arbusto
	<i>Ormosia colombiana</i>	BND	PHR	Árbol
	<i>Ulex europaeus</i>	BNF	PER	Arbusto
	Fabaceae (1)	BND	PEF	Árbol
	Fabaceae (2)	BND	PER	Árbol
Fagaceae	<i>Quercus humboldtii</i>	BND	CHR	Árbol
Gentianaceae	<i>Macrocarpea macrophylla</i>	BNF	PEF	Arbusto
Lauraceae	<i>Aniba perutilis</i>	BND	CHR	Árbol
	<i>Persea chrisophylla</i>	BND	CHR	Arbusto
	<i>Aniba sp. (2)</i>	BND	CHR	Árbol
Lecytidaceae	<i>Eschweilera antioquensis</i>	BND	CHR	Árbol
Malvaceae	<i>Spirotheca rosea</i>	BND	PEF	Árbol
Melastomataceae	<i>Miconia lehmannii</i>	BNF	PEF	Arbusto
	<i>Blakea quadrangularis</i>	BNF	PEF	Árbol
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>	BND	PEF	Árbol
Moraceae	<i>Ficus cuatrecasiana</i>	BNF	PEF	Árbol
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	CUL	PEF	Trepadora
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i>	BNF	PEF	Arbusto
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca rugosa</i>	BNF	PEF	Hierba
Pinaceae	<i>Pinus patula</i>	INT	PER	Árbol
Piperaceae	<i>Piper aduncun</i>	BNF	PEF	Arbusto
Podocarpaceae	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	BND	PER	Árbol
Primulaceae	<i>Myrsine coriasea</i>	BNF	PEF	Árbol
Rubiaceae	<i>Gallium hypocarpium</i>	BNF	PEF	Hierba
	<i>Nertera granadensis</i>	BND	PEF	Hierba
	<i>Palicourea apicata</i>	BNF	PEF	Arbusto
	<i>Palicourea angustifolia</i>	BNF	PEF	Arbusto

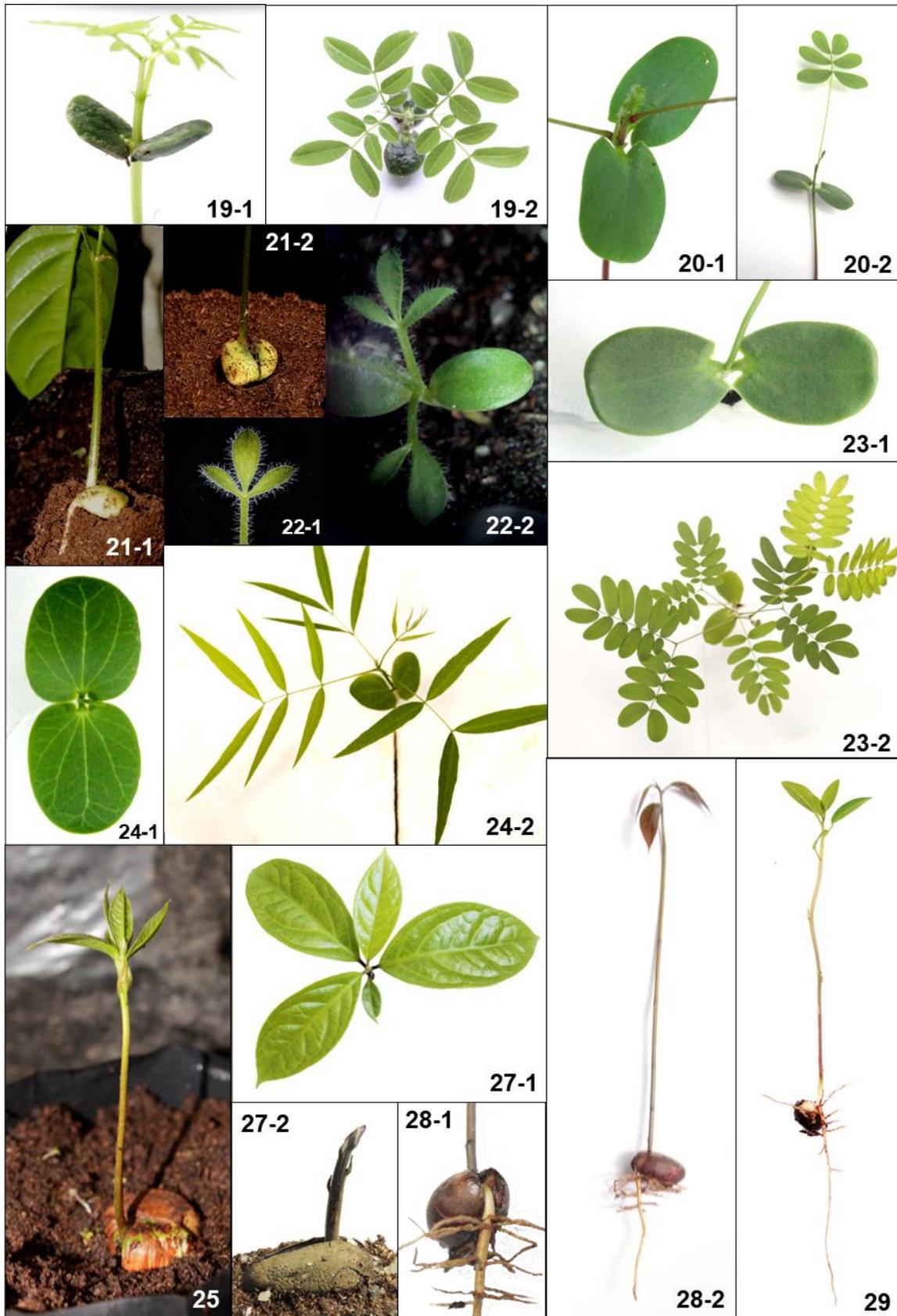
	<i>Palicourea sp.</i>	BNF	PEF	Arbusto
Sapindaceae	<i>Billia rosea</i>	BND	CHR	Árbol
Smilacaceae	<i>Smilax tomentosa</i>	BND	PEF	Trepadora
Verbenaceae	<i>Lantana hirta</i>	INT	PER	Hierba
	<i>Citharexylum subflavescens</i>	BND	PEF	Árbol
Violaceae	<i>Viola stipularis</i>	BNF	PEF	Hierba
Winteraceae	<i>Drymis granadensis</i>	BND	PEF	Árbol

5.5. Registro fotográfico

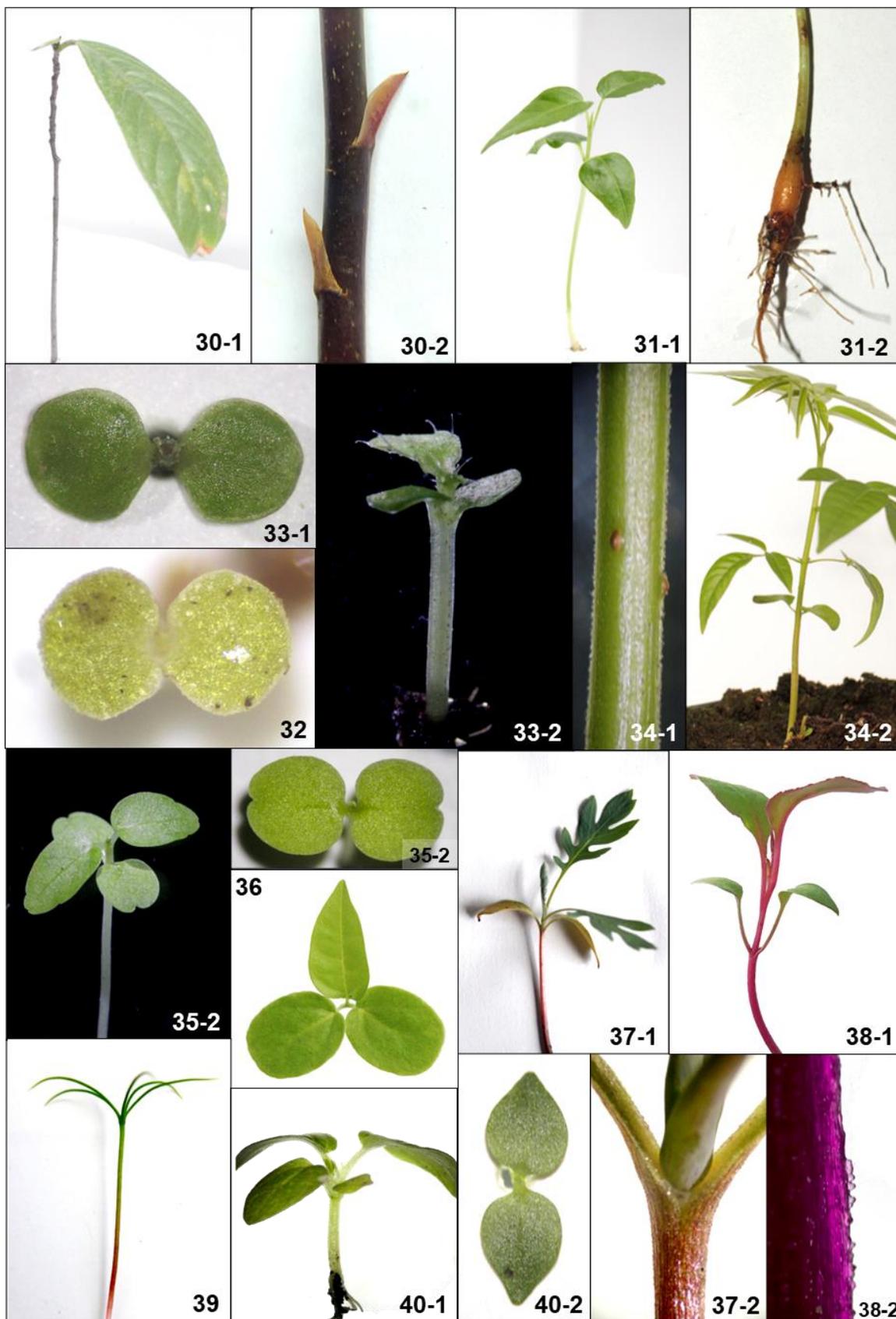
Las fotografías realizadas para las 54 especies en etapa de plántula se presentan en cuatro láminas (L1 a L4). Cada lamina contiene entre 11 y 18 especies, con una o dos fotografías por especie; cada fotografía se enumera desde el número 1 hasta el 54 y cuando se presentan varias fotografías para la misma especie, estas se enumeran con 1 o 2 y se separan con un guion. Para cada especie se muestran los cotiledones desde diferentes perspectivas y, en algunos casos, otras estructuras relevantes para la identificación según la disponibilidad de los registros fotográficos. Los nombres científicos correspondientes a la numeración presentada se muestran en la descripción de cada lámina.



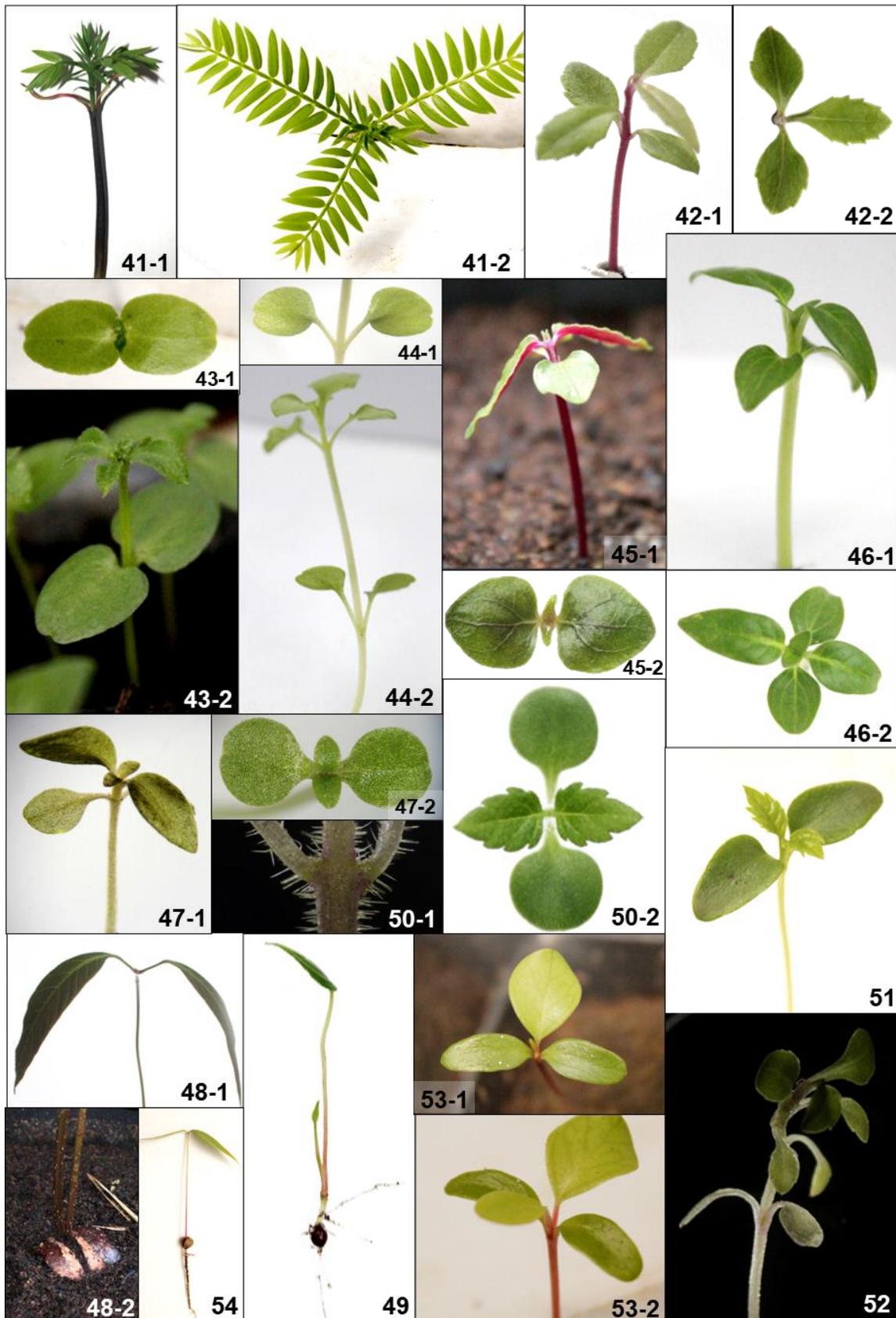
Lamina 1. 1. *Thunbergia alata*. 2. *Bomarea bredemayerana*. 3. *Aristolochia* sp. 4. *Bidens pilosa*. 5. *Ageratina* sp. 6. Asteraceae. 7. *Tecoma stans*. 8. Bignoniaceae. 9. *Cordia acuta*. 10. *Centropogon* sp. 1 11. *Centropogon* sp. 2 12. *Clusia discolor*. 13. *Clusia multiflora*. 14. *Gaultheria erecta*. 15. *Vaccinium meridionale*. 16. *Cavendishia bracteata*. 17. *Croton magdalenensis*. 18. *Alchornea triplinervia*.



Lamina 2. 19. *Abarema lehmannii*. 20. *Mimosa albida*. 21. *Ormosia colombiana*. 22. *Ulex europaeus*. 23. Fabaceae 1, 24. Fabaceae 2. 25. *Quercus humboldtii*. 26. *Macrocarpea macrophylla* (no se muestra). 27. *Aniba perutilis*. 28. *Aniba* 2. 29. *Persea chrisophylla*.



Lamina 3. 30. *Eschweilera antioquiensis*. 31. *Spirotheca rosea*. 32. *Miconia lehmannii*. 33. *Blakea quadrangularis*. 34. *Cedrela montana*. 35. *Ficus cuatrecasiana*. 36. *Passiflora edulis*. 37. *Bocconia frutescens*. 38. *Phytolacca rugosa*. 39. *Pinus patula*. 40. *Piper aduncun*.



Lamina 4. 41.*Retrophyllum rospigliosii*. 42.*Myrsine coriasea*. 43.*Gallium hypocarpium*. 44.*Nertera granadensis*. 45.*Palicourea angustifolia*. 46.*Palicourea apicata*. 47.*Palicourea* sp. 48.*Billia rosea*. 49.*Smilax tomentosa*. 50.*Lantana hirta*. 51.*Citharexylum subflavescens*. 52.*Viola stipularis*. 53.*Drymis granadensis*.

6. Discusión

6.1. Geminación de semillas

Las semillas procedentes de bosques nativos son poco conocidas, por esta razón pueden existir dificultades en el momento de implementar protocolos de propagación *ex situ*. Muchos factores influyen en este proceso, desde una recolección adecuada, manejo de frutos, tipos de sustratos y almacenamiento. El poco conocimiento en los aspectos de la historia de vida relacionados con esta etapa tiene un efecto negativo en la cantidad de semillas recolectadas, su viabilidad, calidad fitosanitaria y el porcentaje de germinación (Salazar, Rodriguez, & Alzate, 2007).

En el presente estudio se observó que en general los ensayos de germinación implementados para las 163 especies recolectadas en este estudio mostraron un porcentaje de éxito del 33,13%. En el caso de muchas de las especies analizadas, este tipo de ejercicios de propagación son los primeros que se han propuesto, por lo que exigen un tiempo prolongado con el objetivo de experimentar con diferentes variables y de esta manera tener resultados exitosos. Ante la carencia de información de este tipo, las metodologías y los ensayos propuestos en este trabajo serán publicados con el objetivo de contribuir y complementar futuras investigaciones.

Los resultados de germinación para 54 especies revelan que una proporción baja 31,5% posee un porcentaje de germinación mayor al 80%, según las condiciones empleadas. Esto contrasta con una mayor proporción de especies (68,5%) que presentó un porcentaje menor al 80%, con la mayoría (24,1%) con porcentajes menores al 20% (Figura 5). Porcentajes de germinación bajos afectan significativamente el proceso de caracterización morfológica de las plántulas, debido a que el número de individuos descritos por especie se reduce y la fiabilidad de las descripciones disminuye proporcionalmente. Esto se debe a la variabilidad

morfológica que pueden presentar algunas especies en esta etapa y que puede afectar la determinación taxonómica (Garwood, 2009).

Una proporción considerable de especies (42%) presentó un periodo de germinación menor a 20 días, aunque la mayoría (58%) presentó un periodo mayor a este tiempo. Una de las razones que explica el comportamiento observado en el periodo de germinación es la presencia de algún tipo de latencia en las especies estudiadas, lo que dificulta la obtención de un número óptimo de individuos en un tiempo prudente (Baskin & Baskin, 2004). Lo anterior refuerza la necesidad de realizar investigaciones previas sobre los protocolos de propagación de este tipo de especies, junto con conocimientos básicos sobre la latencia, la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas.

6.2. Caracteres morfológicos

La distribución de los caracteres morfológicos entre las especies de diferentes tipos de bosque ha sido una pregunta de gran interés para el entendimiento de los factores que afectan el establecimiento y la supervivencia de las plántulas mediante el análisis de su morfología (Garwood, 1996). Los primeros acercamientos al estudio de los patrones a nivel tropical han mostrado una distribución particular de los caracteres morfológicos en donde las plántulas con cotiledones epigeos presentan una mayor abundancia dentro del espectro morfológico para un determinado bosque, mientras que la presencia de plántulas con cotiledones hipogeos suele ser más escasa. Además, a nivel neotropical la frecuencia de los tipos funcionales de plántulas muestra un patrón específico en el que las plántulas de tipo PEF son las más frecuentes, seguidas por plántulas de tipo CHR y PER, siendo las de tipo PHR y CER las menos frecuentes (Tabla 2). Estos patrones han sido observados y corroborados en diferentes estudios realizados en todo el trópico, tanto en el continente americano como en ecosistemas paleotropicales (Garwood, 1996; Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005).

Tabla 2. Porcentaje de especies con diferentes tipos morfológicos de plántulas en seis sitios (este estudio incluido; modificado a partir de Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama (2001). PEF=Plántula fanerocotilar-epigea-foliácea, PER=Plántula fanerocotilar-epigea-de reserva, CHR=plántula, PHR=Plántula fanerocotilar-hipogea-de reserva, E=Epigea, H= Hipogea, N=Número de especies.

Sitio	PEF	PER	CHR	PHR	CER	E	H	N
Este estudio	70,4	14,8	12,9	1,8	0,0	85,2	14,7	54
México	49,5	9,5	31,4	7,2	2,4	-	-	210
Guadalupe	51,0	15,7	22,0	9,3	2,0	-	-	102
Panamá	42,9	16,1	28,8	8,8	3,4	-	-	205
Puerto Rico	48,1	18,1	23,8	8,8	1,3	-	-	160
Venezuela	56,2	19,6	14,4	7,2	2,6	-	-	194
Neotrópico	49,5	15,8	24,1	8,3	2,3	67,7	32,3	-
Pantrópico	43,2	21,7	22,3	8,8	4,0	68,8	31,2	-

6.2.1. Morfología de cotiledones

Las plántulas con cotiledones epigeos fueron dominantes dentro de los bosques altoandinos con un 85,2% de especies dentro de este grupo, que contrasta con un 14,7% que presentó plántulas con cotiledones hipogeos. Estos resultados concuerdan con el patrón encontrado a nivel neotropical, en el que los cotiledones epigeos representan la mayor proporción dentro del espectro morfológico de las plántulas (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005). Sin embargo, se observó una sobrerrepresentación del 19% en este estudio con respecto al patrón general que muestra un 68% de plántulas con cotiledones epigeos junto con un bajo porcentaje de plántulas con cotiledones hipogeos. Una de las razones que puede explicar los resultados observados es la baja representatividad de especies, lo que evidencia la necesidad de un mayor muestreo de plántulas para bosques altoandinos que destaque posibles observaciones de plántulas con cotiledones hipogeos, aún no descritas para este

tipo de ecosistemas. No obstante, también podría significar una mayor representación de plántulas con cotiledones epigeos en este tipo de bosques con respecto a otros del neotrópico y del mundo.

6.2.1.1. Cotiledones epigeos

Los cotiledones foliáceos fueron más frecuentes dentro del grupo de plántulas con cotiledones epigeos (82,6%) mientras que los cotiledones de reserva se presentaron solo en un 17,37%. Estos resultados son similares a los encontrados en otras regiones del neotrópico en donde las plántulas con cotiledones epigeos foliáceos están representadas en un 75,8% y las plántulas con cotiledones epigeos de reserva, un 24,2% (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005)

Un análisis de los caracteres cualitativos comúnmente utilizados para la diferenciación de este grupo de plántulas con cotiledones epigeos mostró una amplia variación morfológica en los cotiledones. Caracteres como la forma de la lámina, del ápice y de la base presentaron una amplia variación, aunque se presentaron estados de carácter dominantes. Un hecho que corrobora la posibilidad de realizar determinaciones taxonómicas fiables es la presencia de venación primaria y secundaria conspicua en cotiledones, que se presentaron con mayor frecuencia en este tipo de plántulas. Las características de la venación en estas estructuras junto con la presencia y variación de caracteres asociados proveen información valiosa para la diferenciación de grupos taxonómicos, más aún cuando se contrasta la variación morfológica de caracteres de cotiledones y hojas de forma conjunta (Ash, et al., 1999; Garwood, 2009).

Otros caracteres morfológicos, como la forma del margen o el grado de similitud entre las dos laminas cotiledonares, resultaron ser menos variables y la presencia de algunas características, como estipulas o pubescencia, resultó ser poco frecuente. No obstante, Garwood (2009) menciona que la presencia de estipulas en cotiledones es independiente de su presencia en los primeros nodos foliares y tiende a ser poco frecuente; las especies de solo algunas familias exhiben este

caracter, como es el caso de la familia Rubiaceae (Zevallos Pollito & Flores Bendezú, 2003; Garwood, 2009; Mukhopadhyay, Bose, & Paria, 2013). Por otro lado, en este estudio se reporta por primera vez la presencia de cotiledones dimórficos especulares (Figura 12) en el género *Alchornea*, ya que en otros estudios para Colombia y el neotrópico no se ha reportado hasta la fecha (Barrera, 1985; Garwood, 2009). Este carácter podría ser diagnóstico para *Alchornea triplinervia*. Por lo tanto, este tipo de caracteres exclusivos pueden resultar bastante útiles para la delimitación de grupos taxonómicos específicos, incluso a nivel de especie.

6.2.1.2. Cotiledones hipogeos

Los cotiledones criptocotilares fueron más frecuentes dentro del grupo de plántulas con cotiledones hipogeos. Al igual que las observaciones realizadas para plántulas con cotiledones epigeos, las plántulas con esta morfología también se ajustan al patrón neotropical, las cuales exhiben un mayor porcentaje de plántulas criptocotilares (74,4%) y uno menor de plántulas fanerocotilares (25,5%) (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005).

Para especies con cotiledones no-foliáceos en los que los cotiledones no emergen de la semilla, no es posible medir una gran cantidad de caracteres que están presentes en cotiledones foliáceos y de reserva. Debido a esto, en las plántulas hipogeas los caracteres diagnósticos utilizados en cotiledones varían notablemente y se concentran en otras estructuras (Garwood, 2009). En este estudio, este tipo de plántulas presentó, en su mayoría, cotiledones sésiles y una forma elipsoidal, aunque se observaron otros casos menos comunes (Figura 14C). Información adicional puede obtenerse de las características de la semilla o las partes remanentes del fruto (cuando aún están presentes; Figura 14C y F).

6.2.2. Morfología de las primeras hojas

Los primeros nodos foliares presentan caracteres morfológicos fundamentales para la determinación taxonómica, sobre todo cuando se trata de plántulas con germinación epigea, en donde la variación entre el primer nodo foliar y los nodos

subsecuentes es considerable. Esto se evidenció en las plántulas descritas en este estudio, ya que un gran porcentaje presentó una transición morfológica entre las hojas que se desarrollaron entre el primero y el cuarto nodo foliar (66,7%). Esta transición se evidenció con diferencias en la forma general de la lámina, la venación (Figura 15A y B) o variación en el número de folíolos en hojas compuestas (Figura 15C y D). También se reportaron con menor frecuencia cambios en la complejidad foliar (de hojas simples a hojas compuestas; Figura 16A, B y C). La filotaxia también presenta variaciones entre los primeros nodos foliares. El cambio en la filotaxia entre el primero y el segundo nodo foliar también representa un carácter potencialmente útil para la delimitación de grupos taxonómicos a nivel de especie o categorías taxonómicas supra-específicas, aunque el fenómeno se reportó con menor frecuencia. La arquitectura y organización foliar han sido ampliamente utilizadas en taxonomía y sistemática; no obstante, la variación morfológica que aquí se destaca es única para esta etapa y no se presenta en estadios más avanzados de desarrollo (Ash, et al., 1999).

6.2.3. Morfología del tallo: hipocótilo y epicótilo

El análisis de los caracteres del tallo mostró una variación notable entre las características del hipocótilo y del epicótilo. Esto significa que las dos secciones del tallo difieren con respecto a algunas características de la superficie de la epidermis, como la presencia y tipo de pubescencia, presencia y tipo de textura, además de otros caracteres exclusivos de plántulas de ciertas especies. La presencia de pubescencia fue más común en el epicótilo (57,1%), aunque el 28,6% de las plántulas presentó algún tipo de pubescencia en el hipocótilo. Se observó un patrón contrario con respecto al tipo de textura, ya que la presencia de un tipo de textura diferente a la lisa fue más común en el hipocótilo, lo que indica que la superficie de la epidermis presentó una mayor variación en tipos de textura (Figura 17). La variación morfológica observada en tallos se suma al conjunto de características potencialmente útiles para la determinación taxonómica.

Las lenticelas en el hipocótilo de *Cedrella montana* (Meliaceae) son un caso singular debido a que a simple vista no es posible determinar si esta estructura realmente corresponde a una lenticela. Además, si lo anterior es cierto, la presencia de este tipo de estructuras en la superficie de un tallo se ha reportado exclusivamente en la peridermis y asociadas a la presencia de crecimiento secundario. Evert (2006) define una lenticela como una parte limitada de la peridermis en la que el felógeno es más activo que en otras regiones y produce un tejido que posee múltiples espacios intracelulares. Los resultados entran en aparente conflicto con esta definición ya que indican que las estructuras observadas (Figura 16D, E y F) en este caso se presentan asociadas a una capa subepidermal en crecimiento primario. No obstante, un examen minucioso de la anatomía del hipocótilo indica que esta capa subepidermal puede tratarse de una formación muy temprana de peridermis primaria que se da de manera localizada en ciertas áreas del cortex, como se observa en la Figura 20 (Evert, 2006). Por lo tanto, teniendo en cuenta que la presencia de estas estructuras esta asociada a esta capa localizada de peridermis primaria y presenta un tejido con múltiples espacios intracelulares, se concluye que las estructuras observadas en *Cedrella montana* corresponden a lenticelas. Sin embargo, es necesario un análisis riguroso de la formación de lenticelas en diferentes estadios y en diferentes especies del género *Cedrella*.

Otros casos particulares se presentaron en *Spirotheca rosea* (Malvaceae) y *Clusia discolor* (Clusiaceae). El hipocótilo de estas especies presenta un engrosamiento: en el primer caso se ubica de manera localizada en la base (Figura 18A), mientras que en el segundo, el engrosamiento se distribuye en la parte media y disminuye a medida que se acerca a los extremos (Figura 18B). Garwood (2009), menciona que este tipo de estructuras está asociada a plántulas acotilares (cotiledones no desarrollados) o cuando los cotiledones tienen un desarrollo incompleto. En este caso las reservas del cotiledón se almacenan en el embrión y posteriormente en la plántula, usualmente en el hipocótilo. Por otro lado, Garwood (2009) no reporta la presencia de engrosamientos en especies de la familia Malvaceae y los únicos géneros que reportan especies con engrosamientos dentro de Clusiaceae, son *Chrysochlamys* y *Tovomitia*. Sin embargo, Gómez-Restrepo & Toro-Murillo (2007),

ilustran este engrosamiento para plántulas de *Spirotheca rosea*. Debido a las limitaciones presentes al definir la identidad y la función de estas estructuras, es necesario realizar un análisis más profundo, que tenga en cuenta una caracterización anatómica de este tipo de engrosamientos.

En las plántulas hipogeas se encontró una asociación entre la posición de los cotiledones y la presencia de catáfilas. La mayoría de las plántulas hipogeas presentaron catáfilas en el epicótilo, aunque se presentaron excepciones (Figura 14B, E, H y K).

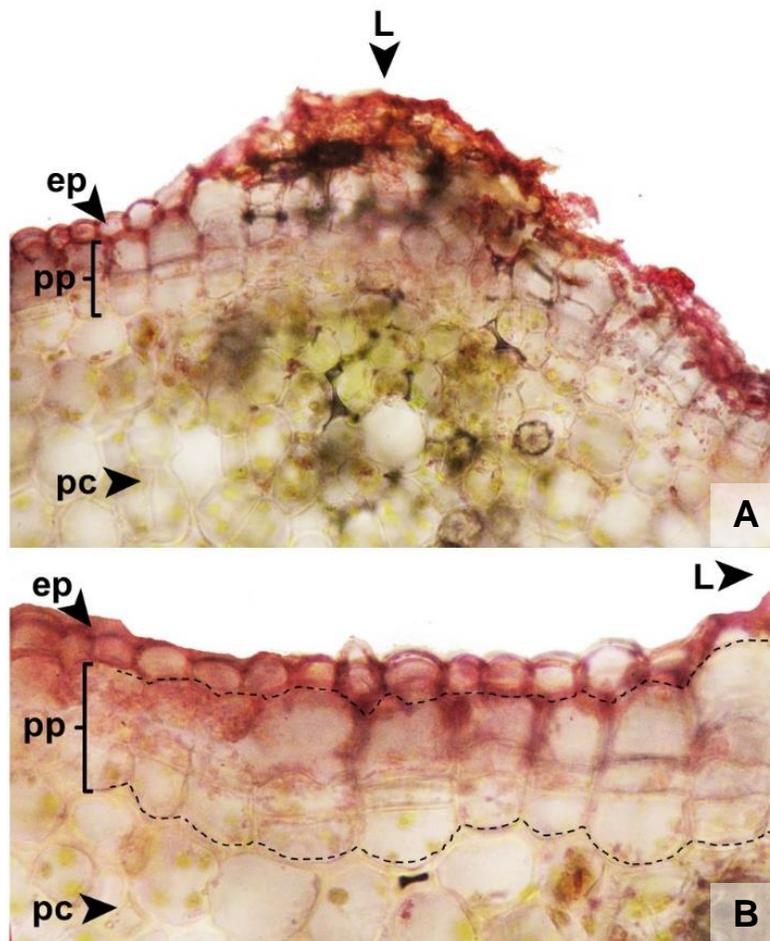


Figura 20. Lenticelas en el hipocótilo de *Cedrella montana* (Meliaceae). **A.** Corte en vista transversal de lenticela en estadios tempranos de desarrollo. **B.** Corte en vista transversal de región contigua a la lenticela en desarrollo. Los límites de la peridermis primaria se resaltan con líneas discontinuas. L=Lenticela; ep=Epidermis; pp=Peridermis primaria; pc=Parénquima cortical.

6.3. Tipos morfológicos de plántulas de bosques altoandinos

El tipo morfológico PEF se encontró en mayor proporción que otros observados en la zona de estudio (PER, CHR y PHR). Aunque este es el más frecuentemente encontrado en bosques neotropicales, en este estudio se observó una sobrerrepresentación del 20,5% (Tabla 2). Esto podría indicar que hubo un submuestreo de plántulas con otros tipos morfológicos y que es probable que a medida que el número de especies descritas aumente, la diferencia entre las distribuciones observadas será menor. Por otro lado, una de las diferencias más notables con respecto al patrón neotropical es la proporción entre plántulas de tipo PER y CHR. Se obtuvo una mayor representación de plántulas de tipo PER con respecto a las plántulas CHR, mientras que la distribución general muestra que las plántulas de tipo CHR tienden a ser más abundantes (Tabla 2). Sin embargo, el número de especies con plántulas de tipo CHR podría aumentar a medida que aumente el muestreo, ajustándose al patrón esperado (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005).

A pesar de lo anterior, no se encontraron diferencias significativas entre las distribuciones de bosques altoandinos y los bosques neotropicales, lo que indica que las observaciones realizadas en la zona de estudio rescatan el patrón de distribución neotropical de tipos morfológicos que se ha encontrado en otros estudios (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001; Zanne, Chapman, & Kitijima, 2005).

La distribución de los tipos morfológicos en la zona de estudio depende del tipo de bosque (fragmentado y denso), lo que indica un efecto significativo de las condiciones lumínicas y de humedad del bosque sobre la supervivencia de plántulas con diferentes tipos morfológicos. Los bosques naturales fragmentados presentan transformaciones en la cobertura por la presencia de pastos y rastrojos, lo que modifica las condiciones ambientales en el interior del parche. Este tipo de bosques presentan una mayor incidencia de la luz y una humedad relativa baja en la zona de regeneración. Esto podría explicar una mayor frecuencia de plántulas de tipo PEF,

ya que los cotiledones foliáceos se levantan por encima de la superficie del suelo para la captación de luz. Además, se ha demostrado que este tipo de plántulas tiene una tasa fotosintética mayor que las plántulas de tipo CHR y poseen un crecimiento rápido cuando incrementa la incidencia de la luz (Pompa & Bongers, 1988; Strauss-Debenedetti & Bazzaz, 1991). Los datos del periodo de germinación mostraron que las plántulas presentes en bosques naturales fragmentados germinan en un menor tiempo (entre 2 y 56 días; Figura 5B). Por otro lado, los bosques naturales densos presentan una mayor dominancia de elementos arbóreos y una enorme heterogeneidad microclimática. Lo anterior podría explicar la presencia de un espectro amplio de tipos morfológicos que se traducen en estrategias de supervivencia en este contexto ambiental (Ibarra-Manríquez, Martínez Ramos, & Oyama, 2001).

6.4. Plántulas de especies invasoras

El estudio de las especies invasoras en el altiplano del oriente antioqueño es de gran relevancia debido a su alto grado de invasión y los efectos negativos sobre poblaciones naturales (Cárdenas-López, Baptiste, & Castaño, 2017; Castaño Lopez, et al., 2019). El entendimiento de la morfología de las plántulas de estas especies puede ser de gran utilidad para entender sus estrategias de supervivencia y los posibles requerimientos para el establecimiento en la zona de regeneración del bosque, lo que, a su vez, puede brindar información que aporte en la construcción de estrategias de control y erradicación efectivas. Se observaron caracteres en común entre las diferentes especies descritas, entre los que se destacan la presencia de pubescencia con una alta densidad de tricomas y un alto porcentaje de germinación. En primer lugar, los estudios demuestran que la presencia de tricomas en la epidermis de tallos y hojas confiere ventajas adaptativas en contextos ambientales de mayor estrés mediante la combinación de estrategias de protección física, mecánica o bioquímica, sobre todo en órganos en desarrollo (Karabourniotis, Liakopoulos, Nikolopoulos, & Bresta, 2020). En especies tropicales se ha relacionado la alta densidad de tricomas no glandulares con la protección contra condiciones drásticas de sequía e intensidades altas de luz (Pringle, et al.,

2011; Ichie, Inoue, Takahashi, Kamiya, & Kenzo, 2016). Lo anterior, podría indicar que la presencia de una alta densidad de tricomas no glandulares en especies invasoras podría traducirse en una mayor tolerancia a ambientes con mayor incidencia de luz y altas temperaturas, como es el caso de *Thunbergia alata*, cuyo hábitat de invasión presenta estas características.

En segundo lugar, altos porcentajes de germinación, junto con una mayor velocidad de germinación, confieren a una especie la capacidad de colonizar diversos hábitats en poco tiempo, lo que se consolida como una estrategia de regeneración efectiva. Esto debido a que la competencia en claros de bosques o zonas intervenidas es mayor y podría conferir una ventaja frente a otras especies (Kitijima & Fenner, 2000). Garwood (1996), afirma que hay una relación entre este tipo de estrategias y el tipo morfológico de la plántula, en donde especies con plántulas de tipo PEF y PER están asociadas con porcentajes de germinación más altos y una germinación más rápida de las semillas, asociación que se evidencia en las plántulas de especies invasoras descritas en este estudio. Además, es posible que esta estrategia esté asociada con otras características relacionadas con el desarrollo temprano de la plántula, como el tiempo requerido para la expansión de los primeros órganos fotosintéticos, la tasa de crecimiento o el aumento en biomasa de la plántula en sus primeros estadios. Sin embargo, es necesario profundizar en este campo de investigación ya que no existen muchos estudios al respecto.

7. Conclusión

Las plántulas de 54 especies de bosques altoandinos del altiplano del oriente Antioqueño presentaron una amplia variación morfológica en diferentes estructuras y exhiben caracteres diagnósticos únicos cuando se comparan con el resto de las especies. Los cotiledones presentaron caracteres de gran relevancia para el reconocimiento de una especie, debido a la singularidad y variabilidad en su desarrollo y al conjunto de características que se pierden en etapas posteriores. Sin embargo, un aspecto que contribuye a la enorme variedad de formas en solo una de las etapas del ciclo de vida de una planta es la transición morfológica observada durante el desarrollo de las primeras hojas (protófilas y metáfilas). Cada hoja nueva exhibe formas más complejas que sus versiones anteriores y variaciones en el tamaño y organización de algunas estructuras. En algunos casos este fenómeno se evidencia en el aumento en la densidad de tricomas, número y tamaño de folíolos en hojas compuestas, reorganización de la disposición de las hojas en el tallo (en los primeros nodos, hojas opuestas y en los siguientes, hojas alternas). Este hecho corrobora la posibilidad de realizar determinaciones taxonómicas acertadas de especies de bosques altoandinos basándose exclusivamente en caracteres morfológicos de plántulas.

Como resultados iniciales se presentan una descripción morfológica detallada y una clave para la determinación taxonómica de las especies en este estudio, así como una contribución sobre los aspectos básicos de su germinación. También se describen por primera vez, plántulas de cinco especies características de bosques altoandinos.

Los tipos morfológicos rescatan el patrón de distribución a nivel neotropical, aunque es necesario un muestreo más amplio para corroborar las observaciones. La morfología representada en tipos funcionales mostró que plántulas con cotiledones foliáceos tienden a encontrarse en mayor proporción en hábitats perturbados, mientras que hábitats conservados presentaron mayor diversidad de tipos funcionales. En este sentido, la distribución de la frecuencia de los tipos de plántulas

encontrados en la zona de estudio depende del tipo de bosque, ya que presenta condiciones contrastantes que pueden afectar la supervivencia de plántulas con diferentes tipos morfológicos.

Se incluyeron las descripciones de algunas especies introducidas que presentan altos niveles de invasión en la región y efectos negativos sobre las poblaciones naturales y se analizó la relevancia ecológica de algunos caracteres en común. Las plántulas analizadas presentan una alta densidad de tricomas, germinación más rápida y con altos porcentajes lo que puede representar una estrategia de supervivencia exitosa en ambientes intervenidos y podría explicar parcialmente su alto grado de invasión en nuestros ecosistemas naturales.

Los resultados aquí presentados representan una contribución al conocimiento de la morfología de plántulas en bosques altoandinos y dan cuenta de su relevancia en campos como la taxonomía o la restauración ecológica. Se evidencia la necesidad de explorar la utilidad de estos caracteres en la determinación taxonómica de grupos cercanamente relacionados y su aplicación en sistemática, en taxones que presentan relaciones de difícil resolución. Así mismo, la información sobre la ecología de plántulas de bosques altoandinos representa un aporte inicial al conocimiento de la ecología de la regeneración y los procesos de supervivencia y establecimiento de las plántulas en estos ecosistemas altamente amenazados.

Referencias

- Álvarez, E., Restrepo, Z., Gonzales, S., Botero, S., Ortiz, C., & Anaya, A. (2016). Deforestación, minería y cambio climático: amenazas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el Oriente Antioqueño. In M. Quijano Abril, *Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación* (p. 266). Bogotá, D.C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Ash, A., Ellis, B., Hickey, L. J., Johnson, K., Wilf, P., & Wing, S. (1999). *Manual of leaf architecture: Morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution.
- Barrera, E. (1985). Identificación de plántulas de algunas especies arbóreas del bosque de niebla. *Perez-Arbelaesia*, 39-95.
- Barrera, E. (1992). Plántulas de algunas especies leñosas y connaturalizadas del Bosque Subandino Sylvania-Cundinamarca, Colombia. *Agronomía colombiana*, 9, 131-160.
- Baskin, J., & Baskin, C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14, 1-16.
- Bokdam, J. (1977). Seedling morphology of some African Sapotaceae and its taxonomical significance. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 77, 1-84.
- Burger, H. D. (1972). *Seedlings of some Tropical trees and shrubs mainly of South East*. Wageningen: Centre for Agricultural publishing and documentation.
- Cárdenas-López, D., Baptiste, M., & Castaño, N. (2017). *Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Castaño Lopez, M., Sánchez Gómez, D., Marín Henao, D., Arcila Arbeléz, K., Rojas Villa, J. M., Sierra Escobar, J., . . . Navarro Alzate, R. (2019). *Historia, Vida y Poderes de una Especie Invasora* (Primera ed.). (M. A. Quijano Abril, Ed.) Roinegro: Universidad Católica de Oriente.
- Castro, C., Olarte, Y., Rache, L., & Pacheco, J. (2012). Development of a germination protocol for blueberry seeds (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agronomía Colombiana*, 30(2), 196-203.
- Chamcellor, R. J. (1964). Emergence of weed seedlings in the field and the effects of different frequencies of cultivation. *Proceedings 7th British Weed Control Conference*, (págs. 599-606). UK.
- Clifford, H. T. (1987). Identification of seedlings in the Australian flora. En P. Langkamp, *Germination of Australian Plant Seed* (Vol. 98, págs. 224-231). Melbourne: Inkate Press.
- Comita, L. S., Aguilar, S., Pérez, R., Lao, S., & Hubell, S. P. (2007). Patterns of woody plant species abundance and diversity in the seedling layer of a tropical forest. *Journal of Vegetation science*, 18(2), 163-174.
- CORNARE. (2015). *Acuerdo No.323*. El Santuario, Antioquia.
- Csapody, V. (1968). *Keimlings-bestimmungsbuch der Dikotyledonen*. Budapest: Akademiai Kiado.
- de la Mensbruge, G. (1966). *La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire*. Nogent-sur-Marne, France: Centre technique forestier tropical.
- de Vogel, E. F. (1980). *Seedlings of dicotyledons*. Wageningen, The Netherlands: Centre for Agricultural.
- del Amo, S. (1979). Clave para plántulas y estados juveniles de especies primarias de una selva alta perennifolia en Veracruz, México. *Biótica*, 4, 59-180.

- del Puerto, O. (1970). *Descripción de plántulas de malezas del Uruguay*. Montevideo: Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía.
- Diaz-Piedrahita, S. (2000). *Matís y los dos Mutis: Orígenes de la anatomía vegetal y de la sinanterología en América*. Bogotá, D.C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Diez, M. C., & Moreno, F. (1998). Morfología de Semillas y Plántulas de Árboles de los Bosques Húmedos Tropicales del Suroriente de Antioquia, Colombia (I parte). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 54(2), 9-50.
- Duke, J. (1965). Keys for the identification of seedlings of some prominent woody species in 8 forest types in Puerto Rico. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 314-350.
- Duke, J. (1969). On tropical tree seedlings. 1. Seeds, seedlings, systems, and systematics. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 56, 125-161.
- Evert, R. F. (2006). *Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells and Tissues of the Plant Body - Their structure, Function and Development* (Tercera ed.). New Jersey: Wiley Interscience.
- Fenner, M. (1987). Seedlings. *New phytologist*, 106, 35-47.
- Flores, E. M. (2002). Seed biology. En J. Vozzo, *Tropical tree seed manual* (págs. 13-118). USA: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Garwood, N. (1983). Seed germination in a seasonal tropical forest in Panama: a community study. *Ecological Monographs*, 53, 81-159.
- Garwood, N. (1996). Functional morphology of tropical tree seedlings. En M. D. Swaine, *The ecology of tropical forest tree seedlings* (págs. 59-129). Paris, France: UNESCO.

- Garwood, N. (2009). *Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropics*. New York, EEUU: Cornell University Press.
- Gómez Restrepo, M., & Toro Murillo, J. (2007). *Manejo de las Semillas y propagación de diez especies del bosque andino*. *Boletín técnico biodiversidad No.1*. Medellín: CORANTIOQUIA.
- Gómez-Hoyos, A. C., Rodriguez, S., & Quijano-Abril, M. A. (2016). Estudio florístico, valoración y ensayos ex situ para un fragmento de bosque pluvial premontano en el municipio de Cocorná. En M. A. Quijano-Abril, *Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación* (pág. 266). Bogotá, D.C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Gurgel, E. S., dos Santos, J. U., Lucas, F. C., & Bastos, M. (2012). Morfología de plântulas de Leguminosae e o potencial sistemático. *Rodriguésia*, 63(1), 65-73.
- Harmant, S., & Rodrigues, R. (2014). Morfología de plântulas de *Martiodendron excelsum* e sua relevancia sistemática em Dialiinae (Leguminosae, "Caesalpinioideae"). *Rodriguésia*, 65(3), 577-586.
- Hernández, A. R., & Organista, D. E. (2002). Morfología de plántulas de *Bursera Jacq. ex L.* (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 70, 5-12.
- Hladik, A., & Miquel, S. (1990). Seedling types and plant establishment in an African rain forest. En K. S. Bawa, & M. Hadley, *Reproductive ecology of tropical forest plants* (págs. 82-261). Paris, France: UNESCO.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical science center.

- Ibarra-Manríquez, G., Martínez Ramos, M., & Oyama, K. (2001). Seedling functional types in a lowland rainforest in Mexico. *American Journal of Botany*, 88(10), 1801-1812.
- Ichie, T., Inoue, Y., Takahashi, N., Kamiya, K., & Kenzo, T. (2016). Ecological distribution of leaf stomata and trichomes among tree species in a Malaysian lowland tropical rain forest. *Journal of Plant Research*, 129(4), 625-635.
- IDEAM. (20 de Abril de 2005). *Cartas climatológicas – medias mensuales*. Obtenido de Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rioneg/rioneg.htm>
- IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. (2007). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá, D.C.
- Karabourniotis, G., Liakopoulos, G., Nikolopoulos, D., & Bresta, P. (2020). Protective and defensive roles of non-glandular trichomes against multiple stresses: structure–function coordination. *Journal of Forestry Research*, 31, 1-12.
- Kitijima, K., & Fenner, M. (2000). Ecology of seedling regeneration. En M. Fenner, *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities* (págs. 331-359). Wallingford, UK: CAB internacional.
- Kummer, A. P. (1951). *Weed Seedlings*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Leck, M. A., Parker, V. T., & Simpson, R. L. (2008). *Seedling ecology and evolution*. Cambridge University Press.
- Lubbock, J. (1829). *A contribution to our knowledge of seedlings*. K. Paul, Trench, Trübner & Company, Limited.
- Martínez-Ramos, M. (1994). Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 54, 179-224.

- Miquels, S. (1987). Morphologie fonctionnelle de plantules d'espèces forestières du Gabon. *Bulletin du Musseum National d'Histoire Naturelle*, 9, 21-101.
- Montes, C., & Quijano-Abril, M. A. (2016). Estudio florístico, prospección y valoración del estado de conservación para un bosque húmedo tropical, municipio de San Luis. En M. A. Quijano-Abril, *Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación* (pág. 266). Bogotá, D.C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Mukhopadhyay, S., Bose, A., & Paria, N. D. (2013). Systematic value of seedling morphology of some members of the tribe Spermaceae of Rubiaceae. *Pleione*, 7(2), 357-365.
- Ng, F. S. (1978). Strategies of establishment in Malayan forest trees. En T. B. Tomlinson, & H. M. Zimmerman, *Tropical Trees as Living Systems* (págs. 62-129). Cambridge: Cambridge University Press,.
- Piergentili, D. (1970). Plántulas de trifoleas y loteas forrajeras cultivadas y naturalizadas en la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de la Plata*.
- Pompa, J., & Bongers, F. (1988). The effect of canopy gaps on growth and morphology of rain forest species. *Oecologia*, 75, 625-632.
- Pringle, E. G., Adams, R. I., Broadbent, E., Busby, P. E., Donatti, C. I., Kuerten, E. L., . . . Dirzo, R. (2011). Distinct leaf-trait syndromes of evergreen and deciduous trees in a seasonally dry tropical forest. *Biotropica*, 43, 299–308.
- Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Novell, D., & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Roma, Italia: Bioversity International.
- Restrepo, C., Aristizabal, C., Uribe, L., Tobón, M., Berrio, M., & Blaser, J. (2016). Corredores biológicos como estrategia para la restauración de servicios ecosistémicos en bosques andinos. En M. A. Quijano-Abril, *Flora del*

Oriente Antioqueño: *Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación* (pág. 266). Bogotá, D.C.: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Ricardi, M., Hernández, C., & Torres, F. (1987). *Morfología de plántulas de árboles de los bosques del estado Mérida*. Mérida, Venezuela: Talleres Gráficos de la Universidad de Los Andes.

Rivera-Martin, L. E., Peñuela-Mora, M. C., & Jiménez, E. M. (2013). *Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: abarco (Cariniana micrantha Ducke), quinilla (Minilkara bidentata (A. DC.) A. Chev.) y violeta (Peltogyne paniculata Benth.)*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Salazar, M., Rodriguez, S., & Alzate, F. (2007). *Establecimiento de fuentes semilleras en bosques montanos bajos de los municipios de La Ceja, El Carmen de Viboral y El Retiro*. Rionegro, Antioquia: Cornare.

Sánchez, O. S., & Zepeda, C. H. (2004). Estudio morfológico de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 6(2), 1-6.

Sánchez, S. M., & Mantovani, W. (1984). Identificação de plântulas de cinco taxa do gênero Brassica (Cruciferae). *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 41(1), 293-305.

Simpson, M. (2010). *Plant systematics*. California, USA: Academic Press.

Strauss-Debenedetti, S., & Bazzaz, F. A. (1991). Plasticity and acclimation to light in tropical Moraceae of different successional positions. *Oecologia*, 87, 377-387.

Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad*. Bogota, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Vozzo, J. A. (2010). *Manual de semillas de árboles tropicales*. USA: Departamento de agricultura forestal de los Estados Unidos.
- Whitemore, T. C. (1996). A review of some aspects of tropical rain forest seedling ecology with suggestions for further enquiry. En M. D. Swaine, *The ecology of tropical forest tree seedlings* (págs. 3-39). Paris, Canrforth, UK & New York: UNESCO.
- Ye, N. G. (1983). Studies on the seedling types of dicotyledonous plants (Magnoliophyta, Magnoliopsida). *Phytologia*, 54(3), 161-218.
- Zanne, A. E., Chapman, C. A., & Kitijima, K. (2005). Evolutionary and ecological correlates of early seedling morphology in East African trees and shrubs. *American Journal of Botany*, 92(6), 972-978.
- Zevallos Pollito, P. A., & Flores Bendezú, Y. (2003). Caracterización morfológica de plántulas de uña de gato *Uncaria Tomentosa* (Willd. ex Roemer & Schultes) D.C. y *U. guianensis* (Aublet) Gmelin del Bosque Nacional Alexander von Humboldt. *Ecología aplicada*, 2(1).