

Aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don. en el Ecuador

Ecología-Silvicultura-Economía

*Mario José Añazco Romero
Hugo Vinicio Vallejos Álvarez
Nataly Maricela Erazo García*

CIDE
EDITORIAL



**Aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don.
en el Ecuador**

Ecología-Silvicultura-Economía

**Aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don.
en el Ecuador**

Ecología-Silvicultura-Economía



Autores

Mario José Añazco Romero
Hugo Vinicio Vallejos Álvarez
Nataly Maricela Erazo García

Fotografías

Mario Añazco, Franklin Mediavilla, Nataly Erazo, Hugo Vallejos, Andrea Sevilla, Andrea Puente y Maryuri Mora.

Revisión de pares

Ing. Zhofre Humberto Aguirre Mendoza PhD., Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Ing. Gloria Cristina Luna Cabrera M.Sc., Universidad de Nariño, Colombia.

Corrección de estilo

Fina Crespo Espinosa.



Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2023
Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
Tel.: + (593) 04 2037524
<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-636-45-4

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.AN2636454>

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.
Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado
Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares
Diagramación: Lic. Alba Gil
Fecha de publicación: diciembre, 2023



La presente obra fue evaluada por pares académicos experimentados en el área.

Catalogación en la Fuente

Aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don. en el Ecuador, ecología-silvicultura-economía / Mario José Añazco Romero, Hugo Vinicio Vallejos Álvarez y Nataly Maricela Erazo García.- Ecuador: Editorial CIDE, 2023.

317 p.: incluye tablas, figuras; 17,6 x 25 cm.

ISBN: 978-9942-636-45-4

Dedicatoria

A la juventud rural y a aquella que tomó la decisión de estudiar una carrera universitaria en las ciencias de la vida, que irradian luz y esperanza en pos de plasmar en terreno los fundamentos de la conservación de los recursos naturales y el desarrollo humano sostenible.

Agradecimiento

A las mujeres y hombres del campo en especial a los pequeños agricultores de la Zona de Intag, quienes con su sabiduría propia de nuestros habitantes rurales, llevan más de tres décadas manejando *A. nepalensis* en sus predios, el recambio generacional sirvió para extender y profundizar el conocimiento sobre las buenas prácticas agroforestales que constituyen la principal tecnología donde fue incorporado y brinda sus beneficios *A. nepalensis*. Así mismo agradecemos a las organizaciones en las cuales los agricultores son afiliados, por el soporte brindado.

Además de los agricultores, el libro es producto de un trabajo de 12 años de investigación de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte, donde 25 estudiantes realizaron sus tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero Forestal; las investigaciones fueron valiosas para enriquecer el rigor científico en la mayoría de los capítulos.

Especial agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales y la Carrera de Ingeniería Forestal, por el apoyo brindado en el proceso de elaboración del libro.

También agradecemos a la Corporación ECOPAR en particular a quienes forman parte del *“Proyecto piloto de Manejo Forestal Sostenible de productos maderables y no maderables con un enfoque de paisaje y de promoción de un mercado inclusivo”*.

Un sincero agradecimiento a los revisores por el soporte científico, sus comentarios mejoraron notablemente la calidad de la publicación: Cristina Luna y Zhofre Aguirre, a Fina Crespo en la revisión de estilo de todo el texto.

Mario Añazco

Hugo Vallejos

Nataly Erazo

Índice

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Prólogo	18
Capítulo 1: Introducción	22
Capítulo 2: Botánica	29
2.1. Taxonomía	30
2.1.1. Sinonimia	30
2.1.2. Etimología	31
2.1.3. Descripción del género y especie <i>Alnus nepalensis</i>	31
2.1.4. Subdivisión del género <i>Alnus</i>	31
2.1.5. Especies del género <i>Alnus</i>	32
2.1.6. Nombres comunes en diferentes idiomas y localidades	33
2.2. Morfología	33
2.2.1. Raíz	34
2.2.1.1. Nódulos radiculares	36
2.2.2. Tallo	37
2.2.2.1. Modelo arquitectónico	37
2.2.3. Corteza	38
2.2.4. Hojas	38
2.2.5. Flores	39
2.2.5.1. Inflorescencias masculinas	39
2.2.5.2. Inflorescencias femeninas	40
2.2.5.3. Polinización	40
2.2.6. Frutos	40
2.2.7. Semillas	41
2.3. Distribución geográfica	41
2.3.1. Distribución natural	41
2.3.2. Introducción de <i>A. nepalensis</i>	41
2.3.3. Estado de conservación de <i>A. nepalensis</i>	41

Capítulo 3: Ecología	43
3.1. Suelo	44
3.1.1. Impacto en las propiedades químicas y la materia orgánica del suelo ...	44
3.1.2. Impacto al suelo de <i>A. nepalensis</i> en diferentes prácticas agroforestales ..	45
3.1.3. Impacto al suelo de <i>A. nepalensis</i> en diferentes altitudes sobre el nivel del mar	46
3.2. Agua	47
3.2.1. Propiedades hidrológicas del suelo	48
3.2.2. Precipitación horizontal	49
3.2.3. Balance hídrico superficial	51
3.3. Fijación de carbono	53
3.3.1. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea y carbono	53
3.3.2. Fijación de carbono en la biomasa aérea	54
3.4. Fijación de nitrógeno	56
3.5. Microclima	59
3.5.1. Latitud y longitud	60
3.5.2. Pendientes	60
3.5.3. Altitud	61
3.5.4. Interacción entre altitud y edad	61
3.5.5. Heliofanía	62
3.5.6. Temperatura	63
3.5.7. Precipitación	64
3.5.8. Humedad relativa	65
3.6. Sombra	65
3.6.1. Sombra y propiedades químicas del suelo	65
3.6.2. Sombra y propiedades físicas del suelo	66
3.6.3. Sombra y calidad de pastos	67
3.6.4. Sombra y ecología	68
3.6.5. Sombra y autosombra	68
3.7. Fauna	69
3.7.1. Diversidad de aves	69
3.7.2. Diversidad de insectos	71
3.8. Flora	73
3.8.1. Composición florística	73
3.8.2. Diversidad de especies	74
3.8.3. Estructura horizontal	74
3.8.4. Estructura vertical	76
3.9. Alelopatía	77
3.10. Restauración	79

Capítulo 4: Fenología	83
4.1. Definición de fenología	84
4.2. Fenología del desarrollo vegetativo	85
4.2.1. Brote de hoja	85
4.2.2. Hoja madura	86
4.2.3. Defoliación	88
4.3. Fenología del desarrollo reproductivo	89
4.3.1. Inflorescencia masculina	89
4.3.2. Frutos jóvenes	92
4.3.3. Frutos maduros	94
4.4. Calendario meteoro-fenológico	97
4.4.1. Calendario meteoro-fenológico para individuos ubicados a 2 812 m s.n.m.	97
4.4.2. Calendario meteoro-fenológico para individuos ubicados a 1 890 m s.n.m.	98
4.4.3. Calendario meteoro-fenológico para individuos ubicados a 1 406 m s.n.m.	99
Capítulo 5: Semillas	102
5.1. Las semillas de <i>Alnus nepalensis</i> en el Ecuador	103
5.2. Morfología de la semilla	103
5.2.1. Forma	103
5.2.2. Tamaño	104
5.2.3. Textura	104
5.2.4. Color	104
5.3. Relación entre parámetros morfológicos y con otros del contexto semillas	104
5.3.1. Relación frutos y semillas	105
5.3.2. Relación tamaño y peso de semillas	105
5.3.3. Relación tamaño y dispersión de semillas	105
5.3.4. Relación tamaño de semillas y calidad de plántula	105
5.4. Clasificación de las semillas	106
5.5. Recolección de semillas	108
5.5.1. Identificación de rodales y fuentes semilleras	108
5.5.1.1. Rodales semilleros	108
5.5.1.2. Fuente seleccionada	109
5.5.1.3. Fuente identificada	109
5.5.2. Selección de árboles semilleros	110
5.5.2.1. Criterios cualitativos para evaluar árboles proveedores de semillas	110
5.5.2.2. Criterios cuantitativos para evaluar árboles proveedores de semillas	111

5.5.3. Época de recolección	113
5.5.4. Número de árboles para recolectar las semillas	114
5.5.5. Potencial productivo de frutos y semillas/árbol	114
5.5.6. Métodos de recolección	116
5.6. Técnicas posrecolección	116
5.6.1. Transporte de frutos	116
5.6.2. Secado de frutos	118
5.6.3. Extracción de la semilla	118
5.6.4. Almacenamiento	119
5.6.4.1. Poder germinativo	121
5.7. Análisis de la calidad de semillas	123
5.7.1. Pureza	124
5.7.2. Contenido de humedad	124
5.7.3. Peso	125
5.7.4. Germinación	127
5.7.4.1. Tratamientos pregerminativos	129

Capítulo 6: Propagación 131

6.1. Fases y etapas en el proceso de propagación sexual	132
6.1.1. Etapa de almácigo	133
6.1.1.1. Medios para la germinación	134
6.1.1.1.1. Semilleros fijos	134
6.1.1.1.2. Semilleros portátiles	135
6.1.1.1.3. Cajas germinadoras	135
6.1.1.1.4. Fundas y tubetes de plástico o polietileno	135
6.1.1.1.5. Semilleros en platabandas	136
6.1.1.2. Factores influyentes en la germinación de semillas de <i>A. nepalensis</i> ...	136
6.1.1.2.1. Factores internos	137
6.1.1.2.2. Factores externos	137
6.1.1.3. Sustratos	139
6.1.1.3.1. Desinfección de sustrato y semillas	140
6.1.1.4. Siembra o almacigado	142
6.1.1.4.1. Siembra al voleo	142
6.1.1.4.2. Siembra en surcos	145
6.1.1.4.3. Siembra en contenedores	145
6.1.1.5. Riego	147
6.1.1.6. Tiempo de germinación	147
6.1.1.7. Raleo	149

6.1.1.8. Evaluación de la germinación	149
6.1.1.8.1. Inventario	149
6.1.2. Etapa de crecimiento	150
6.1.2.1. Actividades previas al repique	150
6.1.2.1.1. Tipo de planta que se ha de producir	150
6.1.2.1.2. Preparación del sustrato	153
6.1.2.2. Actividades durante el repique	155
6.1.2.2.1. Plántulas del raleo	155
6.1.2.2.2. Repique	156
6.1.2.3. Actividades posrepique	158
6.1.2.3.1. Protección	158
6.1.2.3.2. Riego	158
6.1.2.3.3. Reposición del repique	158
6.1.2.3.4. Deshierbe	159
6.1.2.3.5. Control fitosanitario	159
6.1.2.3.6. Fertilización y abonaduras	159
6.1.3. Etapa de endurecimiento	160
6.1.3.1. Poda de raíces	160
6.1.3.2. Remoción y clasificación	161
6.1.3.3. Endurecimiento o lignificación	161
6.1.4. Etapa de evaluación de la calidad de plántulas	161
6.2. Variabilidad genética	163
6.3. Reproducción asexual	164

Capítulo 7: Plantación

166

7.1. Planificación	167
7.1.1. Modelo de planificación	167
7.1.1.1. Objetivos	168
7.1.1.2. Contexto	169
7.1.1.3. Prescripciones	170
7.2. Tipos de plantación	171
7.2.1. Plantación en bloque	171
7.2.2. Plantación para proteger microcuencas	172
7.2.3. Plantación agroforestal	173
7.2.4. Técnicas para la plantación	174
7.2.4.1. Técnicas antes de la plantación	174
7.2.4.1.1. Diseño de la plantación	174
7.2.4.1.2. Análisis del sitio de plantación	174

7.2.4.1.3. Densidad de la plantación	178
7.2.4.1.4. Época de plantación	179
7.2.4.1.5. Análisis social del sitio en que se va a plantar	179
7.2.4.1.6. Provisión de herramientas	180
7.2.4.2. Técnicas durante la plantación	181
7.2.4.2.1. Ordenamiento de la plantación	181
7.2.4.2.2. Preparación del terreno	184
7.2.4.2.3. Hoyado	185
7.2.4.2.4. Transporte de plántulas	186
7.2.4.2.5. Fertilización y uso de abono orgánico	186
7.2.4.2.6. Poda radicular	187
7.2.4.2.7. Plantación	188
7.2.4.3. Técnicas posplantación	188
7.2.4.3.1. Deshierbe	188
7.2.4.3.2. Replante	189
7.2.4.3.3. Protección	190
7.2.4.3.4. Evaluación	190
7.3. Plagas y enfermedades de <i>A. nepalensis</i> en vivero y plantaciones	191

Capítulo 8: Manejo silvicultural 193

8.1. Silvicultura para un manejo forestal sostenible	194
8.2. Crecimiento	194
8.2.1. Crecimiento e incremento	194
8.2.2. Dinámica de crecimiento de <i>A. nepalensis</i>	195
8.2.2.1. Crecimiento en altura	195
8.2.2.2. Crecimiento en diámetro	199
8.2.2.3. Relación del crecimiento en altura y diámetro (DAP)	200
8.2.2.4. Crecimiento en área basimétrica	202
8.2.2.5. Crecimiento en volumen	203
8.2.2.5.1. Tablas de volumen	204
8.2.2.6. Forma del fuste	209
8.3. Tratamientos silviculturales	209
8.3.1. Manejo silvicultural para producir madera de calidad	210
8.3.1.1. Raleo	210
8.3.1.2. Poda	212
8.3.1.3. Programas de aplicación de tratamientos silviculturales: raleo y poda .	214
8.3.2. Manejo silvicultural para producir madera, PFNM y generación de servicios ambientales	218

8.3.2.1. Raleo para producir madera	218
8.3.2.1.1. Raleo en sistemas silvopastoriles	218
8.3.2.1.2. Raleo en linderos	219
8.3.2.2. Raleo para producir PFNM (semillas)	219
8.3.2.3. Raleo para generar servicios ambientales (sombra)	220
8.3.2.4. Poda	221
8.3.2.4.1. Poda de raíces	221
8.3.2.4.2. Poda para manejo de sombra	222

Capítulo 9: Aprovechamiento

225

9.1. Hacia un manejo de uso múltiple de <i>A. nepalensis</i>	226
9.2. Productos madereros	226
9.2.1. Aprovechamiento de la madera de <i>A. nepalensis</i>	227
9.2.1.1. Planificación	228
9.2.1.1.1. Factores intrínsecos	228
9.2.1.1.2. Factores extrínsecos	233
9.2.1.2. Operaciones	236
9.2.1.2.1. Tala	236
9.2.1.2.2. Desrame y despunte	237
9.2.1.2.3. Descortezado	237
9.2.1.2.4. Troceado	237
9.2.1.2.5. Aserrado	238
9.2.1.2.6. Apilado previo	239
9.2.1.3. Transporte	240
9.2.1.3.1. Transporte menor	240
9.2.1.3.2. Transporte mayor	243
9.2.2. Características de la madera de <i>A. nepalensis</i>	244
9.2.2.1. Propiedades físicas de la madera	244
9.2.2.1.1. Contenido de humedad	244
9.2.2.1.2. Densidad	245
9.2.2.1.3. Contracción volumétrica total	245
9.2.2.1.4. Contracción relación Tangencial/Radial	246
9.2.2.2. Propiedades químicas de la madera	246
9.2.2.3. Propiedades de trabajabilidad	246
9.2.2.3.1. Cepillado	247
9.2.2.3.2. Lijado	247
9.2.2.3.3. Moldurado	248
9.2.2.3.4. Taladrado	248
9.2.2.3.5. Torneado	248
9.2.2.3.6. Tallado	249

9.2.2.4. Durabilidad natural de la madera	250
9.2.2.4.1. Contenido de humedad (CH) de la madera	250
9.2.2.4.2. Pérdida de peso (Pp) de la madera	252
9.2.2.5. Secado de la madera	254
9.2.2.6. Defectos de la madera	255
9.2.2.7. Fotodegradación	256
9.2.3. Usos de productos y subproductos madereros	257
9.3. Productos forestales no madereros (PFNM)	259
9.3.1. Medicina natural	259
9.3.2. Tintes naturales	260
9.3.3. Taninos	260
9.3.4. Forraje	260
9.3.5. Abono orgánico	260
9.3.6. Semillas	261
9.4. Servicios ambientales	261
9.4.1. Servicios de regulación	262
9.4.1.1. Clima	262
9.4.1.2. Suelo	262
9.4.1.2.1. Prevención de erosión y deslizamientos de tierra	263
9.4.1.2.2. Rehabilitación de tierras degradadas	263
9.4.1.3. Polinización	264
9.4.2. Servicios de apoyo o soporte	264
9.4.2.1. Reciclaje de nutrientes	264
9.4.3. Servicios culturales	265
9.4.3.1. Paisaje y turismo	265
9.4.3.2. Descubrimiento científico	266
9.4.4. Servicios de aprovisionamiento	266

Capítulo 10: Economía 268

10.1. Costos	269
10.1.1. Costos de producción de plántulas	269
10.1.2. Costos de plantación	272
10.1.3. Costos de manejo silvicultural	275
10.1.4. Costo de aprovechamiento	277
10.1.4.1. Características de la plantación para aprovechamiento maderero	277
10.1.4.2. Tumba y apilado	277
10.1.4.3. Aserrado	278
10.1.4.4. Extracción	278
10.1.4.5. Asistencia técnica	279
10.1.4.6. Administración	280

10.1.5. Costos de secado	281
10.1.6. Costos de comercialización	281
10.1.6.1. Costo total	282
10.2. Ingresos	282
10.3. Análisis de rentabilidad financiera	285

Capítulo 11: Sostenibilidad

290

11.1. Metodología	291
11.1.1. Dimensión ambiental	292
11.1.1.1. Suelo	292
11.1.1.2. Biodiversidad	292
11.1.1.3. Microclima	293
11.1.1.4. Fijación de carbono	293
11.1.2. Dimensión financiera	293
11.1.3. Dimensión social	295
11.1.3.1. Seguridad alimentaria	295
11.1.3.2. Mano de obra	297
11.1.4. Dimensión institucional	299
11.1.4.1. Análisis de actores	299
11.1.4.2. Investigación	300
Referencias	302
Semblanza de los autores	314

Prólogo

La Obra **Aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don. en Ecuador** de los Docentes Titulares de la Universidad Técnica del Norte, Mario José Añazco Romero y Hugo Vinicio Vallejos Álvarez y, de la Ing. Nataly Maricela Erazo García de la Corporación ECOPAR, es el resultado de procesos de investigación documental y en campo, cuyos orígenes se remontan hace 32 años cuando en 1990 se realizan las primeras plantaciones de Aliso de Nepal en la Zona de Intag.

Intag es una zona montañosa que ocupa la tercera parte del territorio de la Provincia de Imbabura, con 1 462 km² frente a la superficie provincial de 4 599 km². Es una zona de transición de los páramos a los subtrópicos. Ecológicamente corresponde a la franja del bosque nublado y forma parte del Chocó Andino. Además, es una importante zona de amortiguamiento de la Reserva Cotacachi-Cayapas, la cual requiere contar con sistemas productivos sustentables.

El aporte académico que realizan los autores con esta obra sin duda, da cuenta de su compromiso con las ciencias forestales y su aporte en la búsqueda de alternativas productivas sostenibles para las comunidades de la zona de Intag mediante la implementación de

plantaciones en bloque y sistemas agroforestales utilizando el Aliso de Nepal.

La presencia de la Universidad Técnica del Norte (UTN) a través de la Carrera de Ingeniería Forestal en la zona de Intag durante los últimos 12 años, ha contribuido con 25 investigaciones efectuadas mediante trabajos de grado de los estudiantes así como la ejecución de dos proyectos de investigación y un proyecto de vinculación con la comunidad, los cuales han aportado con asistencia técnica para fortalecer la cadena de valor de la madera de *A. nepalensis*.

Los tópicos fundamentales que abordan los autores se relacionan con aspectos como la **Ecología**, la **Silvicultura** y **Economía** de la especie forestal *A. nepalensis*., mediante un enfoque integral de la cadena de valor de plantaciones de Aliso de Nepal; las zonas de estudio han sido ubicadas en fincas con diversidad altitudinal y funcional en la Zona de Intag perteneciente al cantón Cotacachi, provincia de Imbabura.

El contenido del libro comprende 11 capítulos, los cuales se basan en la necesidad de disponer de una guía completa que servirá para el estudio y trabajo práctico sobre los principios fundamentales del ciclo productivo de *A. nepalensis*., conocimientos que podrán ser aplicados tanto por agricultores, estudiantes, profesionales, e investigadores relacionados con la actividad forestal y agropecuaria.

Desde la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la UTN, queremos expresar nuestra felicitación y gratitud a los autores del libro y a todos quienes hicieron posible el desarrollo de las investigaciones durante 12 años en diversas fincas de la Zona de Intag.

Exhortamos a los estudiantes de Ingeniería Forestal, profesores e investigadores del campo de las Ciencias Forestales y Agropecuarias hacer una lectura crítica y profundizar en los conocimientos que comparte la presente obra y, que sin duda, se constituye en un referente de compromiso y entrega por parte de los autores para seguir poniendo la Ciencia y la Técnica al servicio del pueblo.

**Dr. Marcelo Cevallos Vallejos PhD.
DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES-UTN**



Capítulo

1

Introducción

INTRODUCCIÓN



Nota. Sistema silvopastoril: asocio de *Alnus nepalensis* D. Don con *Brachiaria decumbens* Stapf.

En este primer capítulo se describen dos aspectos que, juntos, constituyen la parte medular del libro. En primera instancia, se reseña el proceso cronológico de la introducción de la especie *Alnus nepalensis* D. Don. en el Ecuador. La segunda parte se refiere a la estructura del libro y en su contenido lleva de manera implícita y explícita, el enfoque de sostenibilidad; de otro lado, la disposición interna del libro sigue un orden jerárquico constituido por tres áreas del conocimiento y a su vez, cada una está organizada por capítulos que se componen de temas y subtemas.

El aliso de Nepal *Alnus nepalensis* D. Don fue introducido en el Ecuador en el año 1990, en la zona de Intag, en el marco del proyecto “Uso Sustentable de los Recursos Biológicos”, conocido como SUBIR por sus siglas en inglés. Tenía como una de sus áreas de trabajo la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en Intag y, dentro de ella, la parroquia 6 de Julio de Cuellaje. Intag está localizada en las estribaciones occidentales del norte de los Andes ecuatorianos, jurisdicción política del Municipio de Cotacachi, provincia de Imbabura.

Previamente a la introducción de *A. nepalensis*, se efectuó una evaluación *ex ante* para conocer el posible impacto ambiental que podría ocasionar la presencia de esta especie forestal. Para ello, se utilizó la matriz de Leopold; posteriormente, se profundizó el análisis botánico, ecológico y socioeconómico.

El análisis botánico se inició relacionando la especie *Alnus acuminata*, nativa de los Andes ecuatorianos, con *A. nepalensis*. Si bien, esta última provenía de otras latitudes, pertenecen a la misma familia y género y comparten varias características fenotípicas.

Posteriormente, el análisis se centró en contrastar las condiciones ecológicas del lugar de origen de *A. nepalensis* con las características ecológicas y biofísicas de la zona de Intag. Se encontraron varios factores que guardaban similitud como temperatura y precipitación; además, la fisiografía que comprendió la altitud sobre el nivel del mar y la topografía, puesto que Intag se caracteriza por ser un área con fuertes pendientes donde, pese a ello, se desarrollan actividades agropecuarias. En Asia, el lugar de origen de *A. nepalensis*, se ha estudiado el papel del aliso de Nepal en los

agroecosistemas tradicionales para promover el desarrollo de la agricultura en las zonas montañosas y proteger el medio ambiente; por ello, se planta para dar estabilidad a pendientes que tienden a deslizarse y erosionar.

También se analizó la situación socioeconómica de los pobladores locales, quienes, con sus precarios ingresos –producto del deterioro de sus suelos y pérdida de biodiversidad– debían, en el corto plazo, encontrar soluciones a estos problemas. *A. nepalensis* fue parte de la solución (y no del problema) por cuanto con su crecimiento rápido facilitó a los quince años, obtener madera que se comercializa en el mercado con facilidad; además, con la venta de semillas y prestación de servicios profesionales, algunos pequeños agricultores mejoraron sus ingresos económicos. Gracias al aprendizaje que la especie permitió, los pobladores locales han adquirido conocimientos relacionados con la fenología, reproducción sexual, plantación, entre otros, lo cual devengó en cambios sociales, puesto que algunas familias de agricultores pueden obtener ingresos que les permiten solventar las necesidades de índole económica y social que tienen.

Esta situación plantea un desafío a las ciencias forestales, como es el de contribuir significativamente a resolver problemas sociales de quienes aún habitan el espacio rural. Uno de estos, y de mayor envergadura, es la pobreza.

Durante 32 años se realizó el seguimiento y evaluación de la especie para conocer el impacto que esta genera en aspectos sociales, ambientales y a nivel de la economía local. Se inició con el proyecto SUBIR; paralelamente se desarrolló el proyecto de extensión

participativa comunitaria “Manejo del Uso Sostenible de las Tierras Andinas” (PROMUSTA) liderado por CARE-Internacional en convenio con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (/MAG); posterior a estos dos proyectos hubo la intervención de otros tales como: Desarrollo Forestal Campesino (DFC) ejecutado bajo el convenio FAO/Ministerio del Ambiente y, en los últimos años, ECOPAR el cual implementó el proyecto Biocorredores para el Buen Vivir de la zona subtropical del cantón Cotacachi en el marco del Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) de Naciones Unidas.

La presencia de la Universidad Técnica del Norte (UTN), por medio de la carrera de Ingeniería Forestal en la zona de Intag, ha contribuido durante los últimos 12 años, con 25 investigaciones de pregrado y a la ejecución de dos proyectos de investigación, producto de los cuales se publicaron tres artículos científicos; también la UTN ejecutó un proyecto de vinculación con la comunidad, donde brindó asistencia técnica orientada a fortalecer la cadena de valor de la madera de *A. nepalensis*.

El aporte de *A. nepalensis* a la sostenibilidad ambiental, social y económica en la zona de Intag ha sido notable. Las investigaciones efectuadas han permitido aclarar dudas respecto al impacto de la especie sobre el suelo, agua, flora, fauna, y la fijación y almacenamiento de carbono, que ha generado una ruptura conceptual, puesto que prevalece un pensamiento y sentimiento respecto a que toda especie introducida es “mala” para el ambiente.

A. nepalensis ha sido utilizado en la restauración de tierras degradadas y en el manejo de sistemas agroforestales en predios de pequeños agricultores, además contribuye a fortalecer cadenas de

valor verdes (Cevallos, 2017). Uno de los sistemas en el cual los agricultores se han visto beneficiados es el asocio con café *Coffea arabica*, puesto que existe una organización en la zona, que exporta café orgánico, producto del manejo agroecológico de sus predios, donde *A. nepalensis* es la principal especie forestal y el eje mediante el cual se diseñan e implementan algunos sistemas agroforestales.

El legado de la experiencia deja un aprendizaje, que parte de una pregunta: ¿Qué tipo de condiciones ambientales y socioeconómicas están presentes al momento de introducir una especie? Cuando persisten problemas como la pobreza rural y un ambiente en proceso de degradación, es el caso de la zona de Intag, que ha perdido la gran mayoría de sus recursos naturales y conociendo las bondades de *A. nepalensis* para repoblar áreas erosionadas y contribuir a mejorar los ingresos de las familias rurales, se concluye que introducir una especie resulta apropiado bajo el contexto anteriormente descrito.

El presente libro sintetiza treinta y dos años de experiencia y pretende compartir con un público que puede o no tener conocimiento de la actividad forestal. Para ello, se ha estructurado en tres áreas del conocimiento, que son: ecología, silvicultura y economía.

La ecología se aborda en la primera parte del libro, en tres capítulos. El capítulo dos, sobre botánica, da cuenta de la taxonomía, morfología y distribución en el mundo del género *Alnus* y sus especies, entre estas, *A. nepalensis*. El capítulo tres recoge los aportes ecológicos de la especie *A. nepalensis* en el Ecuador, fundamentado a través de los estudios realizados en la zona de Intag, en 10 campos

del saber: suelo, agua, flora, fauna, microclima, sombra, nitrógeno, carbono, alelopatía y restauración. El capítulo cuatro se refiere a la fenología de la especie aliso de Nepal.

La silvicultura comprende desde el capítulo quinto hasta el noveno, donde se abordan las distintas fases (o etapas) del ciclo silvícola. En el capítulo cinco se menciona todo lo relacionado con el manejo de las semillas. El capítulo seis se refiere a la propagación de la especie. El capítulo siete, a la plantación. El capítulo ocho, al manejo silvicultural. Y el capítulo nueve, al aprovechamiento de productos forestales y servicios ambientales que la especie brinda.

La economía se analiza en dos capítulos: el X ofrece información sobre costos, ingresos y rentabilidad financiera; en el XI se presenta un análisis de sostenibilidad con base en una investigación realizada en sistemas agroforestales, con la presencia de *A. nepalensis*.



Capítulo

2

Botánica

BOTÁNICA



Nota. Forma, tamaño, haz y envés de hojas de *A. nepalensis*.

Las principales características botánicas de *A. nepalensis* que a continuación se describen son: taxonomía, morfología y distribución. En la taxonomía se puntualiza el género *Alnus* y las especies que lo constituyen, así como otros aspectos conexos; en la morfología se explican los diferentes órganos que conforman una planta de aliso, y la distribución da cuenta de los lugares geográficos donde se le encuentra en forma natural y donde ha sido introducido el aliso de Nepal.

2.1. Taxonomía

Toda vez que la taxonomía es la ciencia que trata de los principios de clasificación de los seres vivos, para clasificar la especie *Alnus nepalensis* se recurrió a lo señalado en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica en vigencia, y se utilizaron de manera jerárquica, las principales categorías sistemáticas, en sucesión descendente (Benítez et al., 2006). Son las siguientes:

- Reino: Plantae – plantas.
- Subreino: Tracheobionta - plantas vasculares.
- División: Magnoliophyta - plantas con flores.
- Subdivisión: Angiospermae.
- Clase: Magnoliopsida – Dicotiledóneas.
- Subclase: Hamamelidae.
- Orden: Fagales.
- Familia: Betulaceae.
- Género: *Alnus*.
- Subgénero: *Alnus*.
- Especie: *nepalensis* D. Don. (Shaw et al., 2014).

2.1.1. Sinonimia

En taxonomía, sinonimia se refiere a la existencia de más de un nombre –científico– para un mismo taxón. En el caso de *A. nepalensis* sus sinonimias son las siguientes:

- *Alnus boshia* Buchanan-Hamilton ex D. Don.
- *Alnus mairei* H. Lév.
- *Betula boshia* Buch-Ham. ex D. Don.

- *Betula leptophylla* Regel.
- *Betula leptostachya* Wall.
- *Clethropsis nepalensis* (D. Don) Spach. (Shaw et al., 2014)

2.1.2. Etimología

El nombre botánico del “aliso” corresponde al género *Alnus*, proveniente del latín *al*, cerca, y *lan*, río, por desarrollarse cerca de los ríos. Añazco (1996) cataloga a la especie *nepalensis* como un adjetivo geográfico que se refiere a su localización en Nepal (Wu y Raven, 1999).

2.1.3. Descripción del género y especie *Alnus nepalensis*

El género *Alnus* fue descrito por Philip Miller a mediados del siglo XVIII (publicación de 1754); la especie *nepalensis* fue descrita por David Don y publicada en *Prodromus Florae Nepalensis*, en el siglo XIX (publicación de 1825); ambos investigadores fueron botánicos; el primero, británico de ascendencia escocesa, y el segundo, escocés de nacimiento (Wu y Raven, 1999).

2.1.4. Subdivisión del género *Alnus*

El género *Alnus* se subdivide en tres subgéneros: *Alnus*, que son árboles; *Clethropsis*, árboles y arbustos, y *Alnobetula*, correspondiente a arbustos (Añazco, 1996; Wu y Raven, 1999).

2.1.5. Especies del género *Alnus*

Se han registrado 61 especies del género *Alnus* de las cuales, el 47 % se registran en América del Norte; 38 %, en Asia; 10 %, en México y América Central, y el restante 5 % se distribuye entre América del Sur, Europa, África y Oceanía. Las especies de mayor distribución son: *A. glutinosa*, que se encuentra en cinco continentes; *A. incana*, en los cuatro continentes (excepto Oceanía); *A. nepalensis*, en Asia, América y África, y *A. acuminata*, en América y Oceanía.

América y Asia son los continentes donde se encuentra la mayoría de las especies autóctonas del género *Alnus*. En África y Oceanía solo hay especies introducidas.

- **América del Sur:** *A. acuminata* y *A. ferruginea* (Añazco, 1996).
- **México y América Central:** *A. acuminata*, *A. arguta*, *A. firmifolia*, *A. glabrata* y *A. jorullensis*, *A. oblongifolia*, *A. pringlei* (Croizat, 1952).
- **América del Norte:** *A. alnobetula*, *A. alnus*, *A. arguta*, *A. crispa*, *A. densiflora*, *A. elliptica*, *A. fallacina*, *A. fauriei*, *A. fruticosa*, *A. glutinosa*, *A. incana*, *A. hirsuta*, *A. hultenii*, *A. maritima*, *A. metoporina*, *A. mollis*, *A. noveboracensis*, *A. oblongifolia*, *A. oregona*, *A. reinwardtia*, *A. rhombifolia*, *A. rubra*, *A. rubus*, *A. rugosa*, *A. serrulata*, *A. sinuata*, *A. sitchensis*, *A. spuria*, *A. tenuifolia*, *A. Viridis*, (Furlow, s.f.).
- **Asia:** *A. boshia*, *A. cremastogyne*, *A. ferdinandi-coburgii*, *A. firma*, *A. formosana*, *A. glutinosa*, *A. henryi*, *A. hirsuta*, *A. incana*, *A. japonica*, *A. lanata*, *A. mairei*, *A. mandshurica*, *A. maritima*, *A. matsumurae*, *A. maximowiczii*, *A. nepalensis*,

A. nitida, *A. pendula*, *A. sieboldiana*, *A. subcordata*, *A. trabeculosa*, *A. viridis*, (Wu y Raven, 1999).

- **Europa:** *A. cordata*, *A. glutinosa*, *A. incana*, *A. orientalis* (Croizat, 1952).
- **África:** *A. cordata*, *A. firma*, *A. glutinosa*, *A. incana*, *A. nítida*, *A. oregona*, *A. rubra* (Glen, 2002).
- **Oceanía:** *A. acuminata* (introducido en Nueva Zelanda), *A. glutinosa*, *A. cordata* (naturalizado) (Añazco, 1996; Hill, 1994).

2.1.6. Nombres comunes en diferentes idiomas y localidades

Español (aliso); inglés (Nepalese alder, Nepal alder, Indian alder, Himalayan alder); hindi (piak); birmano (maibau); chino (meng-zi-qi-mu, han-dong-gua); nepalí (uttis, utis) (Duke, 1983; Shaw et al., 2014).

En Intag-Ecuador, fue la única zona donde se introdujo por primera vez; los agricultores han adoptado el nombre común de aliso de Nepal o aliso nepalensis; el primero se refiere a su lugar de origen; y el segundo, por la continua expresión técnica de profesionales forestales que mencionan el nombre botánico, del cual los agricultores lo tomaron.

2.2. Morfología

La estructura externa de los árboles de *A. nepalensis* está compuesta por los siguientes órganos: raíz, tallo, corteza, hojas, flores, frutos y semillas.

2.2.1. Raíz

La raíz forma parte de todo un sistema radicular, que es fasciculado (dicho de una raíz, que, por atrofia de la principal, está constituida por un manojito de raicillas del mismo o parecido grosor), con raíces leñosas que sobresalen de la superficie del suelo, rodean al árbol de cinco a seis raíces y se extienden horizontalmente (Figura 1); de ellas salen raíces terciarias que se anclan en el suelo para sostenerse, y son estas las que poseen los nódulos que constituyen indicadores de la fijación de nitrógeno atmosférico.

Figura 1

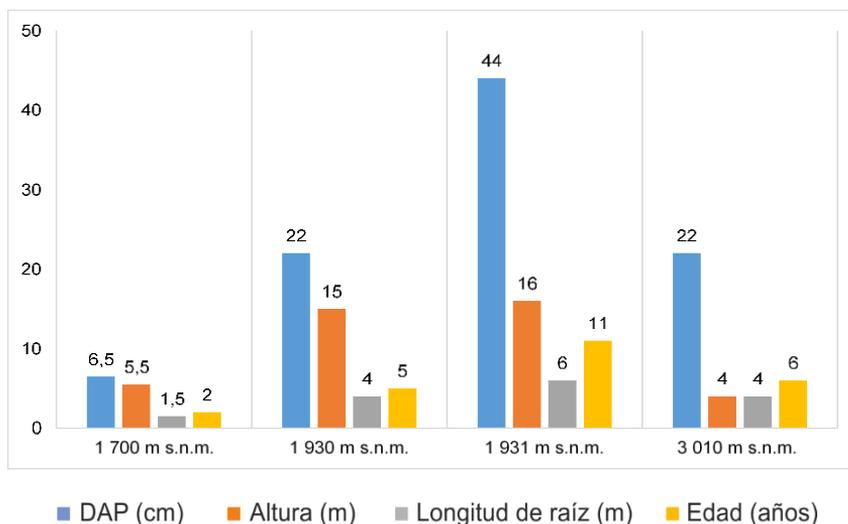
Raíces superficiales de Alnus nepalensis



Nota. La longitud y diámetro de las raíces varían en función de la edad, más que de la altitud sobre el nivel del mar; así, en árboles ubicados a 1 931 m s.n.m., la raíz presentó, a la edad de 11 años, una longitud de seis metros; a los cinco años, esta longitud fue de cuatro metros (Figura 2).

Figura 2

Características de las raíces de A. nepalensis, a diferente edad y altitud (m s.n.m.)



En árboles de 15 años se encontraron raíces con una longitud de 10 metros. A la edad de 11 años varios árboles contienen raíces de 15 cm de diámetro.

Existe una correlación entre el DAP* y altura con la longitud de la raíz: a mayor longitud de raíz, mayor DAP y altura, tal como se puede observar en la Figura 2.

El área radicular presenta un crecimiento lineal, en comparación con la edad; se desacelera a la edad de 12 años. A los cinco años de edad presenta 2,9 m de radio; 4,5 m de radio a la edad

*Se conoce como diámetro altura pecho (DAP) a la altura en que se debe tomar la medida del diámetro del tronco. Dentro de la biometría forestal se ha convenido que sea a 1,30 m del suelo, debido a que esta es la altura promedio en la que se encuentra el pecho de una persona

de siete años, y 4,45 m de radio a la edad de 12 años. La especie presenta un sistema radical superficial y extendido, con una profundidad entre 10 a 60 cm.

2.2.1.1. Nódulos radiculares.

La presencia de nódulos radiculares caracteriza la fijación del nitrógeno atmosférico, la cual constituye una de las principales cualidades de la especie. Un estudio realizado por Farinango (2018) en Intag-Ecuador, encontró los nódulos nitrificantes de las raíces de *A. nepalensis*, de color café, sin aroma característico, de estructuras coraloides formados por muchos lóbulos ramificados y 46 agrupados, de textura lisa y textura rugosa, la agrupación con un tamaño determinado para los lóbulos de 0,07 cm de ancho por 0,54 cm de largo (Figura 3).

Figura 3

Nódulos radiculares en árbol de A. nepalensis



2.2.2. Tallo

Tronco recto que llega a tener 83 cm de DAP a la edad de 22 años; presenta forma piramidal; en sus primeros ocho metros de altura tiene forma cilíndrica y luego adquiere una forma cónica hasta el final de su copa.

2.2.2.1. Modelo arquitectónico.

No hay una definición del modelo arquitectónico de *Alnus nepalensis*, por cuanto su forma y disposición de tronco, ramas e inflorescencia cambian de acuerdo con las características biofísicas del sitio. No obstante, el más próximo podría ser uno de los modelos con diferenciación entre ejes, conocido como Stone, el cual se forma por un tronco ortótropo con crecimiento continuo y ramas ortótropas, simpodiales por sustitución (Figura 4). Las inflorescencias son terminales; esta última característica es muy típica en el aliso de Nepal.

Figura 4

Modelo arquitectónico Stone de Alnus nepalensis



2.2.3. Corteza

Corteza externa de color blanquecino, con presencia de lenticelas en el fuste y en las ramas; corteza interna de coloración blanca (Figura 5).

Figura 5

Corteza con presencia de lenticelas cortas y levantadas



2.2.4. Hojas

Son simples, alternas, dísticas, ligeramente aserradas, ovadas elípticas, ápice acuminado; por la base, obtusa; por la nervadura, broquidodroma, con la nervadura terciaria paralela, con pecíolos acanalados, ligeramente curvados; yemas axilares, alargadas, desde 0,5 hasta 1,5 cm de largo, con presencia de estípulas en la basa del pecíolo; el haz es brillante, de color verde oscuro, y el envés es pálido.

Cuando son árboles jóvenes, tienen hojas anchas de 20 cm de largo y 10 cm de ancho, hasta aproximadamente los seis años; cuando ya son maduros, tienen 15 cm de largo y 7 cm de ancho.

León (2020) al realizar un estudio en un sistema agroforestal de 23 años y una plantación pura de siete años con *A. nepalensis*, encontró un largo de la lámina foliar sin pecíolo promedio de 13,40 cm, un ancho promedio de 6,86 cm, con una variación en el largo entre 10,90 y 16,26 cm y en ancho de 5,40 a 8,77 cm.

2.2.5. Flores

Las flores son monoicas y se encuentran en inflorescencias femeninas y masculinas; ambos sexos se pueden observar en la misma planta, pero siempre se localizan por separado (macho y hembra) en las mismas o diferentes ramas.

2.2.5.1. Inflorescencias masculinas.

Organizadas en forma de amentos –espiga articulada por su base y compuesta de flores de un mismo sexo–, agrupados en una panícula terminal cuya longitud promedio es de 16 cm por 4 mm, color amarillo y se cuelgan en racimos al final de las ramas. Las flores masculinas están reducidas a los estambres; en algunos casos, se pueden encontrar cuatro estambres de aproximadamente 1,0 a 2,0 mm de longitud.

2.2.5.2. Inflorescencias femeninas.

Las flores femeninas se reducen al estigma, que es bífido; se las encuentra agrupadas en racimo axilar, con 3 a 10 amentos; estos son mucho más cortos, erectos y leñosos, desde 0,7 a 3,0 cm de largo, y de 0,5 a 1,5 cm de diámetro; de forma cilíndrica u ovoide, se presentan en ramitas laterales ramificadas.

2.2.5.3. Polinización.

La polinización es anemófila; en otras palabras, significa que el transporte del polen es muy abundante, efectuado por el viento.

2.2.6. Frutos

Secos, dehiscentes, denominados estróbilos oblongos, se encuentran reunidos en conos erguidos sobre tallos cortos, elípticos, compuestos de muchas escamas leñosas extendidas. A medida que van madurando, cambian de color verde a marrón oscuro, y los de mayor tamaño maduran primero que los pequeños, aun en el mismo árbol.

El tamaño varía de acuerdo con la altitud (m s.n.m.) y las condiciones edafoclimáticas del sitio; en algunos lugares se observan frutos desde menos de 1 hasta 3 cm de largo, y de 0,5 a 1,5 cm de diámetro.

2.2.7. Semillas

Son de color marrón claro, circulares y planas, con dos grandes alas membranosas, de más de 2 mm de ancho (Duke, 1983).

2.3. Distribución geográfica

2.3.1. Distribución natural

El género *Alnus* se encuentra distribuido en los cinco continentes. *Alnus nepalensis* es originario de Asia, se le encuentra en la cordillera del Himalaya; específicamente, es autóctono de las colinas birmanas; las provincias de Yunnan, Szechuan y Kweichow, en China, e Indochina. El rango de distribución es amplio en todo el continente asiático, en regiones tropicales y subtropicales, y en los países: Bangladés, Bután, China, India, Myanmar, Nepal, Tailandia y Vietnam (Shaw et al., 2014).

2.3.2. Introducción de *A. nepalensis*

A. nepalensis se ha introducido en África; en el continente americano, en Estados Unidos (Hawaiian Is.), Costa Rica y el Ecuador (Shaw et al., 2014; Añazco, 1996).

2.3.3. Estado de conservación de *A. nepalensis*

De acuerdo con la categoría y criterios de la International Union for Conservation of Nature (UICN), en la Lista Roja de China esta especie se considera de Preocupación Menor. Según la opinión de Shaw et al. (2014): “no existen grandes amenazas de alcance amplio que afecten a la supervivencia de esta especie, o que se prevean en un futuro próximo.”



Capítulo

3

Ecología



Nota. *Alnus nepalensis* formando parte del paisaje ecológico en Intag, Ecuador.

Los aportes de la especie *A. nepalensis* a la ecología del paisaje en el Ecuador, se manifiestan en dos grandes grupos de factores: abióticos y bióticos. En los abióticos está la contribución al suelo (aunque este tiene una parte biótica), agua, carbono, nitrógeno, microclima, sombra; en los bióticos, fauna, flora, alelopatía y restauración.

3.1. Suelo

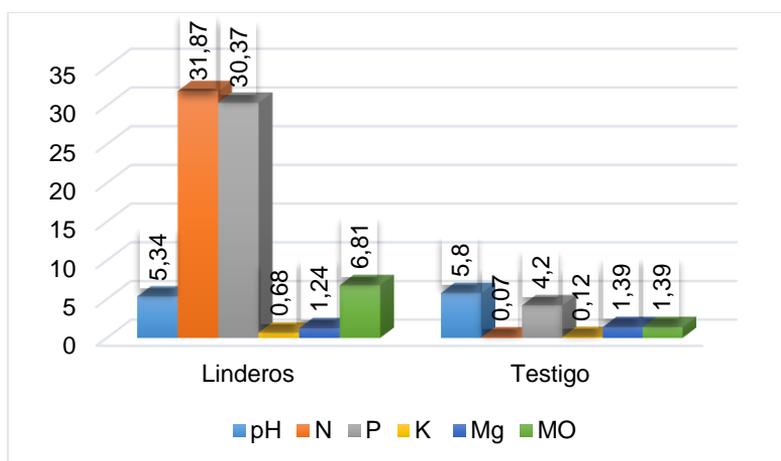
La influencia de *A. nepalensis* se da en las propiedades químicas y orgánicas del suelo. Para determinar el impacto de los árboles de *A. nepalensis*, se realizaron tres análisis. El primero compara los contenidos químicos y de materia orgánica del suelo, bajo un lindero con la especie aliso, y otro predio sin la presencia de esta (Figura 6); el segundo compara cuatro prácticas agroforestales con diferentes arreglos, pero todas tienen en común la presencia de los árboles de *A. nepalensis* (Figura 7); el último analiza el impacto en tres diferentes altitudes sobre el nivel del mar (Figura 8).

3.1.1. Impacto en las propiedades químicas y la materia orgánica del suelo

La interpretación de los resultados de los análisis de suelos concluye que los valores de P y K son muy altos en el lindero con árboles de *A. nepalensis*. Sin la presencia de los árboles, los valores de P y K son muy bajos; la materia orgánica es alta en el lindero, y registra un valor bajo en el sitio sin árboles; el pH es medio en ambos casos.

Figura 6

Impacto en las propiedades químicas y materia orgánica del suelo por A. nepalensis



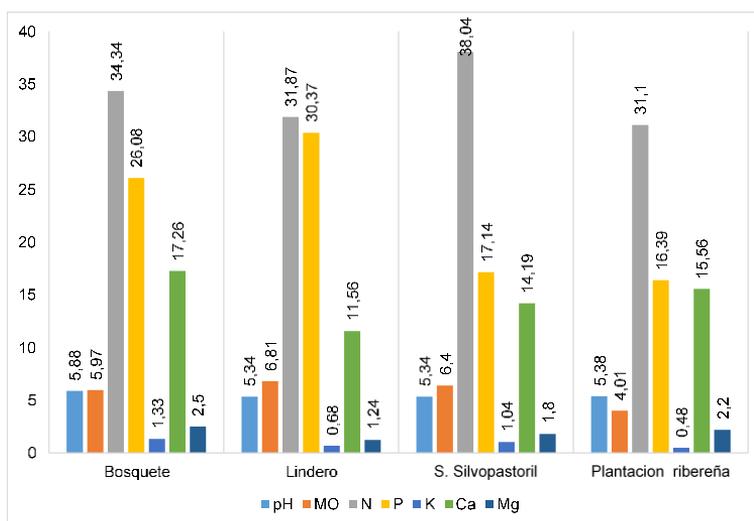
La presencia del componente arbóreo genera un impacto positivo en la composición química del suelo, de acuerdo con los valores indicados en la Figura 6; no obstante, la relación K/Mg en el lindero con la especie aliso fue de 0,55, lo que indica un riesgo de deficiencia de Mg; la relación K/Mg en la práctica sin árboles de aliso fue de 0,08, lo cual significa riesgo de deficiencia de K. Lo último deja entrever que, si bien los árboles coadyuvan a mejorar los valores de K, generan un riesgo de disminuir el Mg.

3.1.2. Impacto al suelo de *A. nepalensis* en diferentes prácticas agroforestales

En varias prácticas agroforestales donde existe *A. nepalensis*, las diferencias en los valores de las propiedades químicas y la materia orgánica de los suelos se generan en función del asocio del árbol con cultivos o pastos, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Impacto al suelo de A. nepalensis en diferentes prácticas agroforestales



Las prácticas donde los árboles se plantaron en asocio con cultivos y pastos como lindero, plantación ribereña y sistema silvopastoril, respectivamente, el pH es fuertemente ácido. En bosquetes donde los árboles se encuentran en un solo bloque homogéneo sin asocio con otra especie de cultivo o pasto, el pH fue moderadamente ácido.

La materia orgánica presenta valores altos donde los árboles se encuentran en arreglos agroforestales localizados en tierra firme, conocidos como sistemas silvopastoriles, linderos y bosquetes; en la plantación ribereña, los porcentajes de la materia orgánica son inferiores a los obtenidos en los arreglos antes señalados, lo que probablemente se debe a la crecidas del río que arrasan la materia orgánica depositada en la superficie del suelo, y la arena que predomina en la textura del suelo de esta área.

El contenido de P es alto en suelos donde hay presencia mayoritaria de árboles y están asociados con pocos cultivos agrícolas. Los valores medios de P se registran en las prácticas donde los árboles comparten el espacio con pastos y cultivos, el sistema silvopastoril y la plantación ribereña.

Las bases que comprenden Ca, K y Mg, presentan valores altos en todas las prácticas, excepto el lindero, donde los valores del Mg se interpretan como medios.

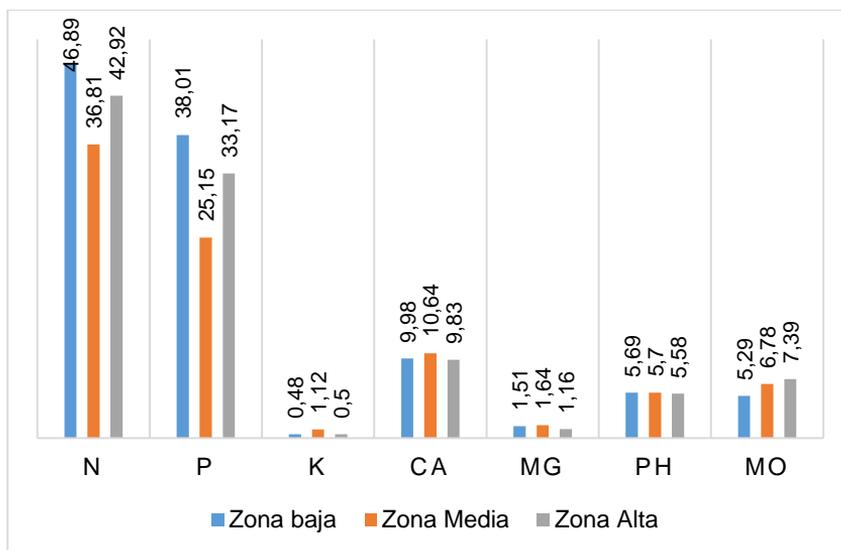
3.1.3. Impacto al suelo de *A. nepalensis* en diferentes altitudes sobre el nivel del mar

La composición química y de la materia orgánica no varían de acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar donde se efectuaron las diferentes prácticas agroforestales. En la Figura 8 se muestran los

resultados de los análisis de suelos en tres zonas con altitudes diferentes.

Figura 8

Impacto de A. nepalensis en el suelo, en diferentes altitudes sobre el nivel del mar



Todos los parámetros químicos y la materia orgánica analizados presentaron resultados similares en las tres zonas estudiadas: baja (1 400 m s.n.m.), media (2 000 m s.n.m.) y alta (3 010 m s.n.m.).

3.2. Agua

Para conocer la influencia de *A. nepalensis* en el agua, se realizó un análisis en el balance hídrico superficial; la investigación tuvo lugar en la Reserva Hídrica El Paraíso, localizada en las estribaciones occidentales de los Andes ecuatorianos del norte (provincia Imbabura).

A efectos de comparar la influencia de *A. nepalensis*, la investigación se centró en dos agrosistemas y dos ecosistemas con diferente cobertura de pasto y forestal. El primer agrosistema fue un pastizal en monocultivo con la especie *Brachiaria decumbens* Stapf; el segundo consistió en un sistema silvopastoril, donde interactúa *A. nepalensis* con *B. decumbens*. Los ecosistemas fueron dos tipos de bosques: uno, denominado bosque mixto, donde coexisten especies nativas asociadas con árboles de *A. nepalensis*; el otro fue un bosque nativo sin la presencia de individuos de *A. nepalensis*.

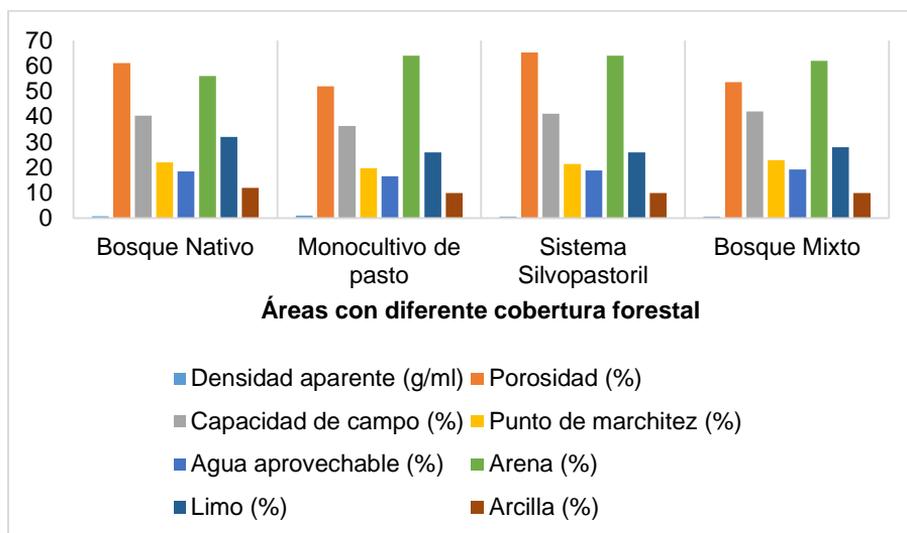
3.2.1. Propiedades hidrológicas del suelo

Las propiedades hidrológicas del suelo con distintas coberturas se manifestaron de manera diferente, por lo que fue posible concluir que *A. nepalensis* interfiere de manera favorable en las propiedades físicas del suelo.

Los valores de capacidad de campo y agua aprovechable aumentan en las zonas que tienen árboles, ya sea la zona de bosque nativo, mixto, o el sistema que forma el pasto con *A. nepalensis*. Los valores de porosidad en la zona del bosque mixto y en el de pastizal se encuentran dentro del rango óptimo (40 % – 60 %); lo contrario sucede con los demás escenarios (Figura 9).

Figura 9

Propiedades hidrológicas de suelos con diferente cobertura forestal



Nota. Adaptado de Haro (2021).

La mayor densidad aparente registró el monocultivo de pasto, con 1,04 g/ml; los sistemas con presencia de *A. nepalensis* presentaron valores menores, entre 0,64 y 0,78 g/ml; esto se debe a la presencia de materia orgánica que fue de 6,81 (alto) donde está presente *A. nepalensis*, frente a 1,39 (bajo) donde no se encuentra esta especie forestal. Tanto en agrosistemas como en ecosistemas, la clase de textura correspondió a franco-arenoso y al grupo hidrológico B.

3.2.2. Precipitación horizontal

La precipitación acumulada durante ocho meses de estudio fue de 1 695,31 mm; que es el resultado de la precipitación vertical más la horizontal. Carvalho (2014) y García (2018), han estimado una intercepción de la precipitación horizontal en el bosque mixto, de alrededor del 7 % de la precipitación total.

El mes que mayor precipitación tuvo fue diciembre; los valores más bajos se registraron en los meses de junio y julio. Cabe mencionar que el caudal calculado en el mes de diciembre, en el punto de aforo de las vertientes de la cuenca, fue de 7 l/s.

Los individuos adultos de *A. nepalensis* presentan una altura total que llega hasta 28 m, y la copa se concentra en el último tercio de los árboles con abundante follaje; esta arquitectura le permite aportar con agua al ecosistema o agrosistema mediante la precipitación horizontal. El proceso ocurre cuando las gotas de agua de niebla chocan en forma horizontal con la de los árboles de *A. nepalensis*.

Además de la cantidad de agua que aporta la precipitación horizontal al sistema, resalta el hecho de que ocurre en la época de menor precipitación vertical, lo cual incrementa la valoración del aporte ecológico de la especie forestal.

Durante los meses de época seca (mayo, junio y julio) se registró agua que llegó al suelo por trascolación y escurrimiento del fuste, lo cual es producto de la precipitación horizontal, puesto que en estos meses hay mayor presencia de neblina que es atrapada por el follaje de los árboles de *A. nepalensis*.

Campo (2021) describe en la Reserva El Paraíso, el bosque mixto, donde se evidencia mayor cantidad de individuos en el estrato alto, lo cual influye en la intercepción de las precipitaciones, que, a más de frenar la caída de las gotas de lluvia, captan la neblina y se produce la escorrentía por el fuste y la trascolación. Esta agua, al llegar al suelo se infiltra y alimenta la zona de recarga hídrica. En

conclusión, *A. nepalensis* interfiere de manera favorable en la regulación hídrica.

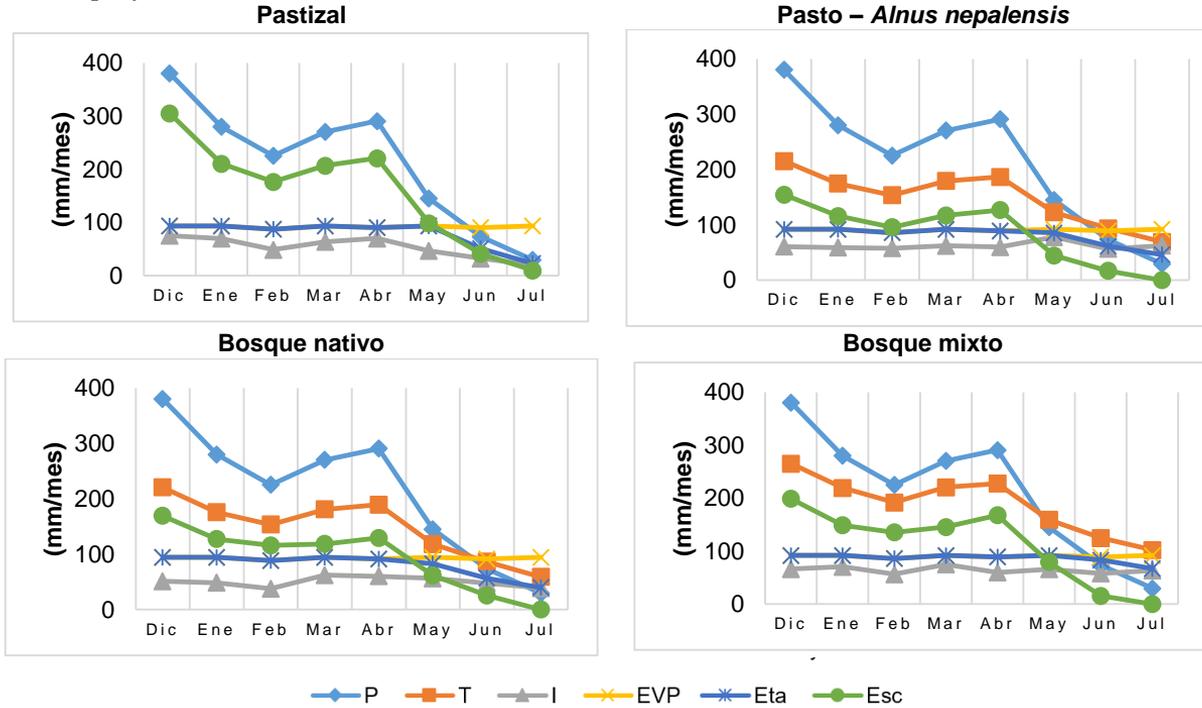
3.2.3. Balance hídrico superficial

El ecosistema bosque mixto registra la mayor cantidad de agua que llega al suelo; también este ecosistema presenta las tasas más altas de infiltración, puesto que supera con un promedio del 14 % al bosque nativo y a los otros agrosistemas. Esto se debe a las propiedades hídricas del suelo, que se encuentran en los rangos óptimos (Figura 10).

La evapotranspiración real (Eta) disminuye en junio y julio, meses que representan el inicio de la época seca, característica propia de cada cobertura. El bosque mixto es el que tuvo el valor más alto de Eta, puesto que su suelo es el que mayor cantidad de agua almacena (Figura 10).

Figura 10

Balance hídrico superficial de las zonas de estudio



Nota. P: Precipitación; T: Traslación; I: Infiltración; EVP: Evapotranspiración potencial; Eta: Evapotranspiración real; Esc: Escorrentía.
Fuente: Haro (2021).

El sistema silvopastoril presenta la cantidad más baja de agua que se pierde por escorrentía; esta situación se debe al rol del pasto y los árboles en la disminución de la velocidad de las gotas de lluvia; también juegan un papel las raíces del aliso en la superficie del suelo, que al frenar la escorrentía superficial de agua, aumentan la oportunidad de infiltración o evaporación. Esto último es de gran valía, por cuanto un desbalance entre la velocidad de infiltración y la precipitación puede ocasionar el escurrimiento excesivo de agua, lo que provocaría inundaciones en tierras bajas.

3.3. Fijación de carbono

Se han realizado algunos estudios con el objetivo de determinar la capacidad de fijación de carbono de las plantaciones forestales puras (macizo) y sistemas agroforestales desarrollados con *A. nepalensis*. Entre los años 2016 y 2021 se ejecutaron cuatro proyectos de investigación; en dos de ellos se construyeron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea y el carbono.

3.3.1. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea y carbono

Los estudios determinaron que los mejores modelos fueron aquellos en los cuales se usaron las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro basal (DB) y altura total (HT); también los modelos en los cuales se usan transformaciones con logaritmo natural (ln). Los resultados mostraron altos coeficientes de determinación mayores que 0,90. Los modelos con mejor ajuste en cada estudio se mencionan en la Tabla 1.

Los modelos alométricos generados en el sitio de la investigación (Intag), resultaron ser los mejores para cuantificar la biomasa aérea y carbono para la especie; cabe señalar que, si es el caso de usar otros modelos de un sitio diferente a Intag, es posible que existan sesgos sistemáticos en la cuantificación de la biomasa aérea o carbono.

Tabla 1

Modelos alométricos para predecir la biomasa aérea y carbono de la especie A. nepalensis

Tipo de plantación	Ecuación	R ² corregida	Autor
Sistema agroforestal: aliso+café	CC=- 115,715+1935,132DAP +108,196lnHT ²	0,93	Añazco et al. (2019)
Plantación pura	B = -163,36 + 44,42 ln (DAP x DB)	0,92	España (2016)
Plantación pura	B = 37,157 + 1,76x10 ⁻⁴ (DAP x DB x HT)	0,90	España (2016)

Nota. CC: Contenido de carbono en kg; B: biomasa en Tn/ha; DB: Diámetro Basal (m); DAP: Diámetro a la altura del pecho (m); HT: Altura total (m); ln: Logaritmo natural.

3.3.2. Fijación de carbono en la biomasa aérea

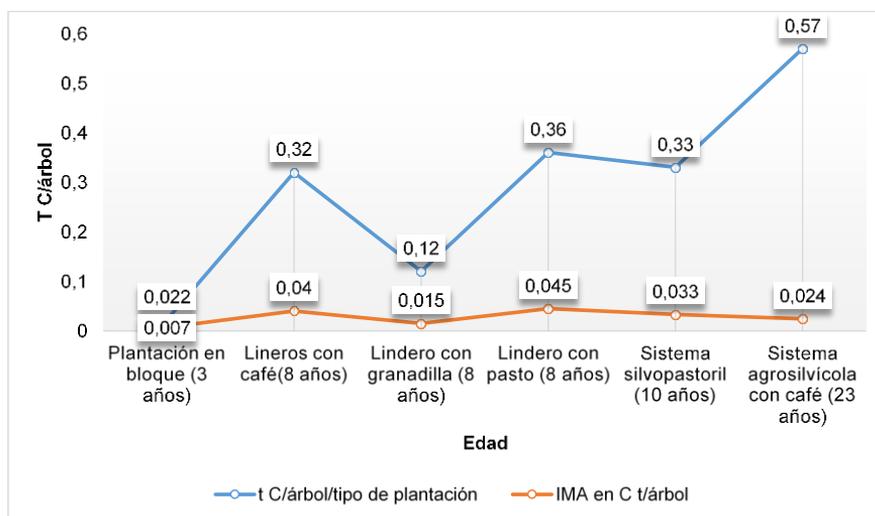
Las investigaciones concuerdan en señalar que la tasa de fijación de carbono de *A. nepalensis* depende por lo menos de tres factores: edad, tipo de plantación y altitud sobre el nivel del mar.

Un árbol de *A. nepalensis* puede fijar en promedio 570 kg (0,57 t C) en un periodo de 23 años; los mayores valores de IMA se presentaron a la edad de ocho años (Figura 11) en un lindero asociado con pasto. A partir de estas edades, la tasa de fijación de carbono se desacelera.

La cantidad de biomasa y carbono almacenado tiende a estabilizarse a medida que la edad aumenta (aprox. desde el año 10). Esto se explica por el comportamiento típico de las especies forestales de balancear sus tasas de crecimiento con las tasas de descomposición a medida que alcanzan su madurez.

Figura 11

Carbono fijado por *A. nepalensis* en diferentes sistemas de plantación y edad



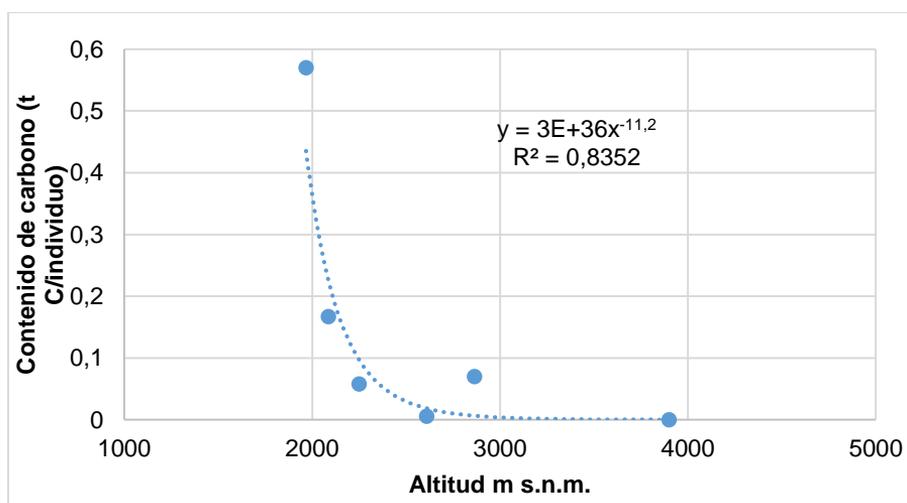
Nota. Adaptado de España (2016); Ocampo (2018); Añazco et al. (2019); Proaño (2021).

Entre los tipos de plantación, son los silvopastoriles los que presentan la mayor tasa de fijación de carbono; el lindero de *A. nepalensis*, en asocio con el pasto *Setaria sphacelata*, presenta la tasa más alta de carbono; le sigue el sistema silvopastoril, donde se asocia aliso de Nepal con *Brachiaria decumbens* Stapf.

La altitud sobre el nivel del mar tiene influencia en la fijación y almacenamiento de carbono; la mayor cantidad de carbono fijado ocurre entre los 1 400 m s.n.m. y 2 000 m s.n.m. Esto concuerda con el estudio de Añazco et al. (2019) quienes comprobaron que, a medida que se incrementa la altitud, la tasa de fijación de carbono disminuye (Figura 12).

Figura 12

Relación altitud sobre el nivel del mar vs contenido de carbono



Nota. Adaptado de Añazco et al. (2019).

3.4. Fijación de nitrógeno

Alnus nepalensis fija nitrógeno (N) mediante una relación simbiótica con un microorganismo del género *Frankia*, llamado bacteria filamentosa o actinomiceto, capaz de inducir la formación de nódulos radiculares fijadores de nitrógeno atmosférico.

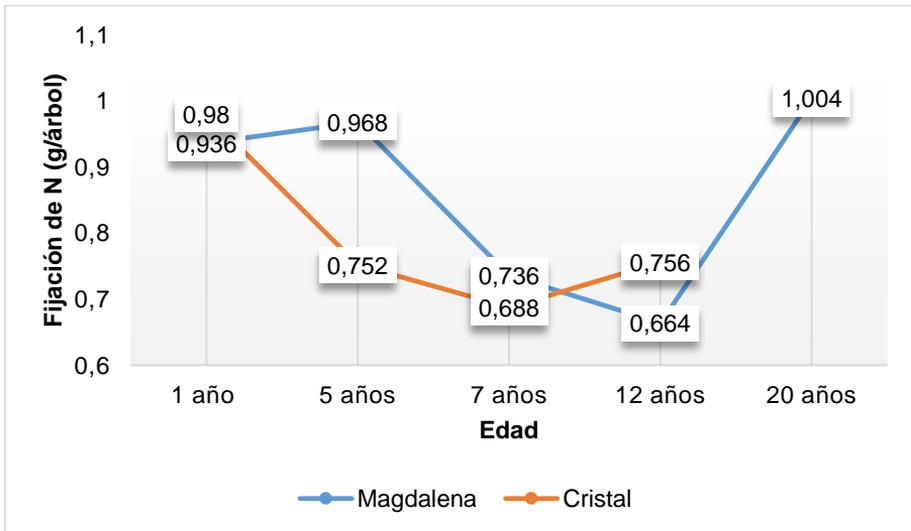
En la simbiosis, *Frankia* provee a la planta de aliso una fuente de N, y aliso provee al *Frankia* una fuente de carbono. Parte de este nitrógeno es utilizada por los individuos de aliso de Nepal; otra parte es usada por individuos de diferentes especies que crecen junto o cerca del aliso. Por lo mencionado, se colige que otro papel ecológico de la simbiosis es incrementar la productividad de muchas comunidades vegetales vecinas al incorporar N al suelo por medio de la hojarasca de *A. nepalensis* que cae. Aliso transfiere parte del N₂ que fija hacia las plantas vecinas a través de la red subterránea de hifas de los hongos micorrizógenos que van de unas plantas a otras.

La simbiosis formada por la bacteria *Frankia* y el nódulo radical de la planta se conoce con el término de actinorriza; de allí, las plantas que tienen esta capacidad de fijar N, son denominadas plantas actinorrícicas. Estas se comportan como pioneras en el desarrollo sucesivo de comunidades vegetales en suelos pobres en nitrógeno, suelos degradados y erosionados, suelos de baja fertilidad o en suelos perturbados (como erupciones volcánicas e incendios); además, pueden contribuir a aumentar los niveles de nitrógeno en los sistemas agroforestales (Barbas et al., 2001; Molina et al., 2006).

La cantidad de nitrógeno fijado por *A. nepalensis* varía con la edad de las plantas. Farinango (2018) al estudiar el nitrógeno fijado en dos sitios, en la zona de Intag (Comunidades La Magdalena y El Cristal), encontró que el nitrógeno fijado biológicamente por la especie presenta diferencias a varias edades; obtiene una cantidad mínima de 0,664 g/árbol, a la edad de 12 años y una máxima de 1,004 g/árbol, a los 20 años (Figura 13).

Figura 13

*Fijación de nitrógeno por *Alnus nepalensis**

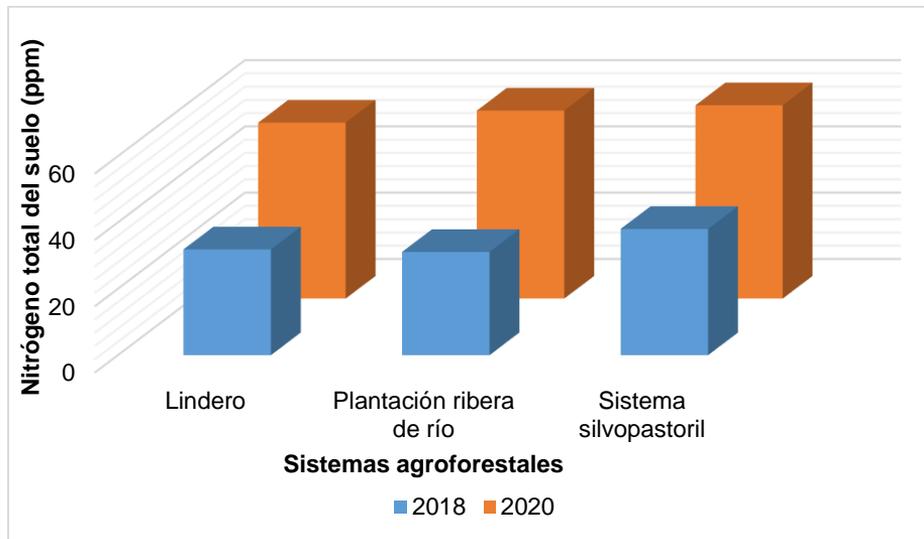


Nota. Adaptado de Farinango (2018).

Entre los años 2018 y 2020 se realizaron análisis de suelos en tres diferentes sistemas agroforestales de diez años de edad, donde se encuentra *A. nepalensis*. La cantidad de nitrógeno total del suelo se incrementó con la edad de los individuos de la especie forestal en 21 ppm en linderos y sistemas silvopastoriles, y 26 ppm en plantaciones a la orilla de un río (Figura 14).

Figura 14

Cantidad de nitrógeno total en sistemas agroforestales a diferente edad



3.5. Microclima

Promis et al. (2010) definen al microclima como el “conjunto de condiciones climáticas propias de un punto geográfico o área reducida, y representa una modificación local del clima general de la región, debido a la influencia de distintos factores ecológicos”.

Como complemento de la definición anterior, el microclima es un clima local, resultado de la combinación de factores geográficos y atmosféricos. Los geográficos son la latitud y la altitud. Los atmosféricos comprende variables meteorológicas y climáticas; las primeras se refieren a las condiciones atmosféricas transitorias, y las segundas, a condiciones atmosféricas permanentes o habituales de una determinada zona.

En la zona de Intag (provincia de Imbabura-Ecuador) donde se introdujo *A. nepalensis*, el microclima bien puede definirse como el conjunto de patrones y procesos atmosféricos característicos de un predio y su entorno cercano, donde una plantación pura o una práctica agroforestal que contiene *A. nepalensis* influye al interior y al exterior del sistema existente. Las variables de análisis fueron latitud y longitud, pendientes, altitud, heliofanía, temperatura, precipitación y humedad, además de la interacción entre altitud y edad.

3.5.1. Latitud y longitud

A. nepalensis en el Ecuador se encuentra adaptado en la zona latitudinal conocida como zona intertropical, o también llamada zona cálida, tórrida o tropical; específicamente, el área donde *A. nepalensis* se encuentra creciendo y desarrollando adecuadamente, está entre 0° 2' 18" Latitud Norte y 78° 30' 44" Longitud Oeste; 0° 49' 45,9" Latitud Norte y 78° 24' 18,5" Longitud Oeste.

3.5.2. Pendientes

En topografía, la pendiente es un concepto que permite medir el grado de inclinación del terreno. Carlosama (2020) realizó un estudio del impacto de la pendiente en el crecimiento inicial de *A. nepalensis*. La pendiente menor donde se plantó fue del 5 %, y la pendiente mayor, del 36 %; no se encontraron diferencias significativas durante el primer año de la plantación; las variables evaluadas fueron: crecimiento en altura, diámetro basal y cobertura de copa.

3.5.3. *Altitud*

La variable fisiográfica altitud (m s.n.m.) influye en la producción de semillas y en el crecimiento de las plantaciones. En cuanto a las semillas: a mayor altitud, mayor cantidad de semillas; a menor altitud, la cantidad de semillas disminuye (ver capítulo 5 Semillas).

En lo referente al crecimiento, a medida que se gana en altitud, el incremento medio anual (IMA) del árbol disminuye en altura y diámetro; así, a 1 860 m s.n.m., el IMA promedio en árboles de cinco años de edad, fue de 3,46 m de altura y 5,03 cm de diámetro, en tanto que árboles plantados a 3 019 m s.n.m. presentaron un IMA de 2,10 m en altura y 4,47 cm de diámetro.

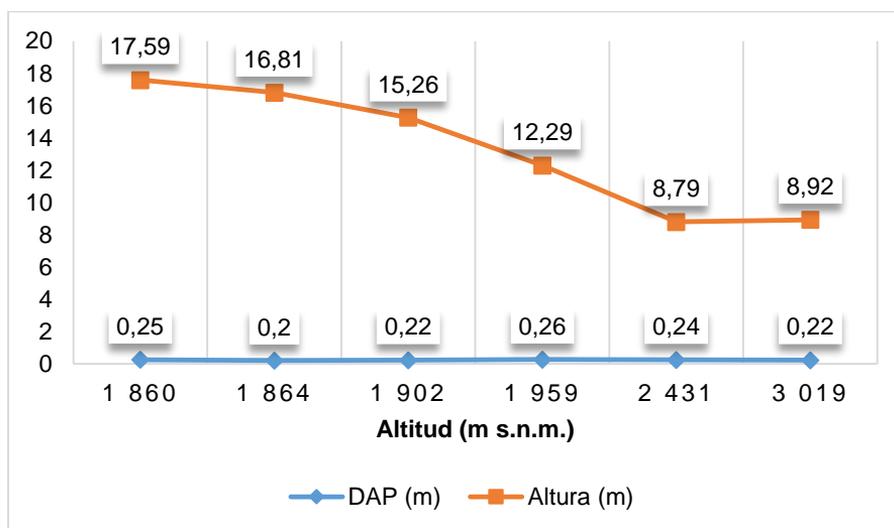
El rango óptimo para obtener buena cantidad y calidad de semillas, y el mejor IMA en altura y diámetro, se estima entre 1 400 y 2 800 m s.n.m.

3.5.4. *Interacción entre altitud y edad*

A medida que se gana en altitud, el DAP disminuye, situación que es más visible a partir de los siete años. Por observaciones realizadas en plantaciones de *A. nepalensis* de cinco y siete años de edad, establecidas en linderos en varias altitudes, se comprobó que durante los primeros cinco años, la variación del DAP fue de 3,10 cm entre los árboles del sitio de menor altitud y los del de mayor altitud, con una diferencia entre estos de 1 159 m s.n.m.; en las plantaciones de siete años, la variación del DAP fue de 7,21 cm en sitios cuya diferencia de las cotas de plantación fue de 279 m s.n.m., tal como se indica en la Figura 15.

Figura 15

Influencia de la altitud (m s.n.m.) en las variables DAP y altura



En cuanto al crecimiento de los árboles hacia lo alto, el comportamiento es contrario a lo que ocurre con el diámetro; en las plantaciones jóvenes, de cinco años, se encontró una diferencia significativa de 8,67 m entre los árboles que crecen en sitios más bajos y los que lo hacen en lugares más altos, en tanto que, a los siete años, esta diferencia fue de 3,34 m, como se indica en la Figura 15.

De lo anterior se colige que *A. nepalensis*, hasta los siete años, aproximadamente, concentra su crecimiento en altura; y a partir de esta edad, empieza el crecimiento diametral.

3.5.5. Heliofanía

En sitios donde crece y se desarrolla *A. nepalensis*, como Apuela, la luz diurna media anual es de 12,1 horas. El promedio de insolación es de 8 horas diarias durante todo el año; el mes con más

sol es septiembre, con un promedio de insolación de 9,6 horas; los meses con menos sol son abril y noviembre, con un promedio de insolación de 7,5 horas (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2017).

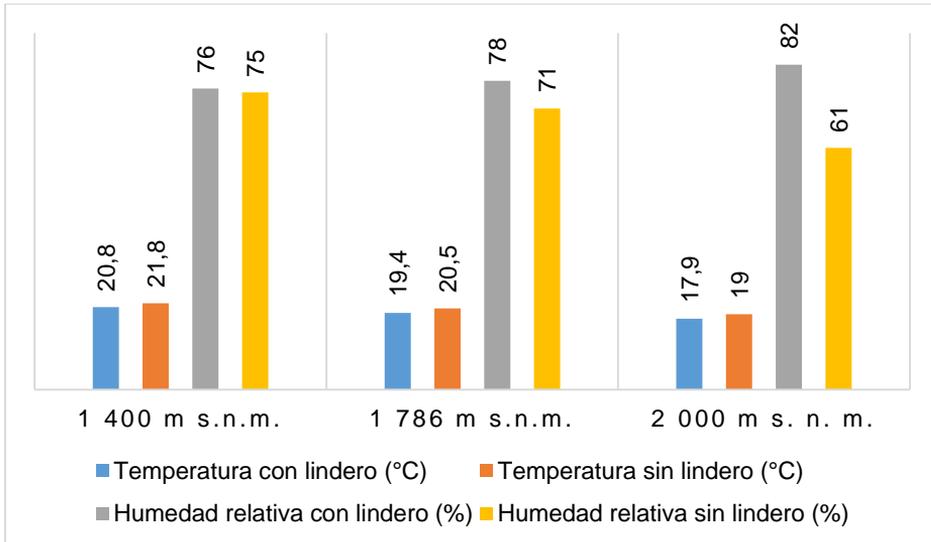
Esta condición de alta presencia de luz es ideal para el crecimiento y desarrollo rápido de *A. nepalensis*, por cuanto es una especie que pertenece al gremio ecológico de las heliófilas, es decir plantas que requieren de la luz directa del sol para alcanzar su mayor desarrollo.

3.5.6. Temperatura

Tiene relación con la altitud, humedad relativa y tipo de cobertura forestal (Figura 16). A mayor altitud, menor temperatura; en las plantaciones de *A. nepalensis* se comprobó que, por cada 100 m que se gana en altitud, la temperatura desciende 0,5 °C (Proaño, 2021), lo cual influye en la sobrevivencia de estos vegetales; en sitios con 17 °C, la sobrevivencia, a los doce meses de edad, es del 100 %, en tanto que, a 18 °C, es del 69 %. Respecto a la humedad relativa, existe una relación inversamente proporcional: a una menor temperatura, un mayor porcentaje de humedad.

Figura 16

Comportamiento de la temperatura bajo diferentes parámetros físicos y biológicos



Nota. Adaptado de Proaño (2021); Carlosama (2020).

La cobertura forestal dada por *A. nepalensis* influye en la temperatura. La presencia de árboles en linderos disminuye la temperatura bajo la copa en un grado centígrado, en promedio.

3.5.7. Precipitación

Existe relación entre la variable precipitación y el comportamiento de *A. nepalensis*, en diferentes estadios de su crecimiento y desarrollo. En la primera fase de crecimiento de una plantación de *A. nepalensis*, el crecimiento en altura es menor en los meses donde se registran los valores más bajos de precipitación, esto es, en junio, julio y agosto, con un nivel de precipitación promedio de 100 mm/mes (Carlosama, 2020).

3.5.8. Humedad relativa

La cantidad de vapor de agua presente en el aire, conocida como humedad relativa, está influenciada, tanto por el tipo de cobertura vegetal como por la altitud. La presencia de *A. nepalensis* acrecienta la humedad relativa que se hace más evidente a medida que se incrementa la altitud (Figura 16).

3.6. Sombra

La sombra es un servicio ambiental que brindan los árboles de *A. nepalensis*. En el mundo, en general, la sombra ha tomado mayor relevancia por el impacto del cambio climático en la agricultura y ganadería, puesto que el estrés calórico afecta las tasas de producción y reproducción de plantas y animales y, una manera de contrarrestar esta situación es con una adecuada sombra.

A. nepalensis se ha plantado con el objetivo de proveer sombra en sistemas agrosilvícolas y silvopastoriles; en los primeros se asocia con el cultivo de café *Coffea arabica* y en linderos con varias especies de cultivos de ciclo corto; en el segundo, con el pasto *Brachiaria decumbens* Stapf. La sombra tiene influencia en las propiedades químicas y físicas de los suelos, calidad de pastos y otros aspectos ecológicos.

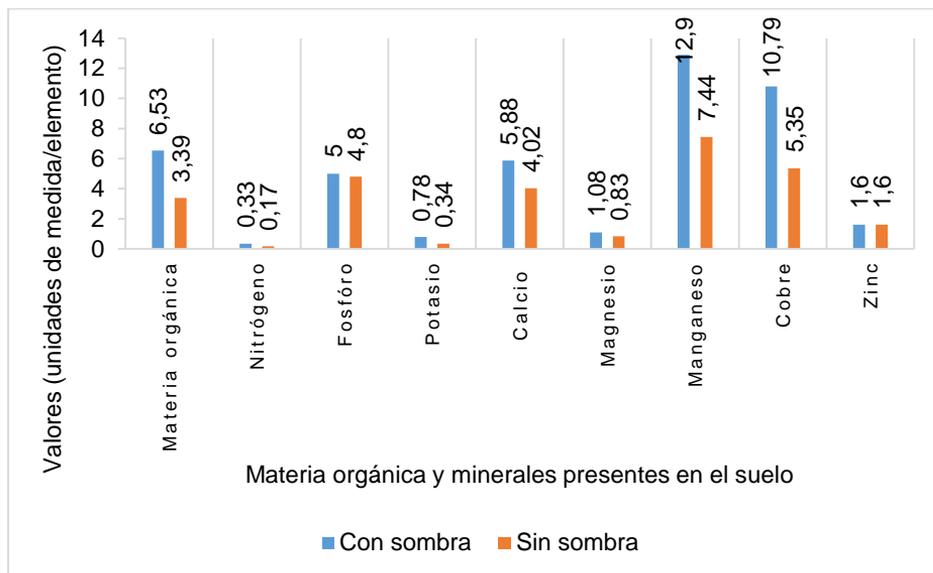
3.6.1. Sombra y propiedades químicas del suelo

En un estudio realizado por Ocampo (2018) sobre las propiedades químicas de los suelos que están expuestos a la sombra por la presencia de *A. nepalensis*, y otros sin ella, los elementos

químicos que se encuentran en el suelo bajo sombra presentaron valores mayores que los que carecían de ella (Figura 17).

Figura 17

Minerales presentes bajo sombra y sin sombra de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Ocampo (2018).

Farinango (2018) realizó una investigación sobre las propiedades químicas de los suelos que se encuentran bajo linderos con *A. nepalensis*, en edades comprendidas entre cinco y quince años. Los resultados encontrados señalan valores superiores en materia orgánica, N, P y K, bajo sombra, que los suelos que no la tienen.

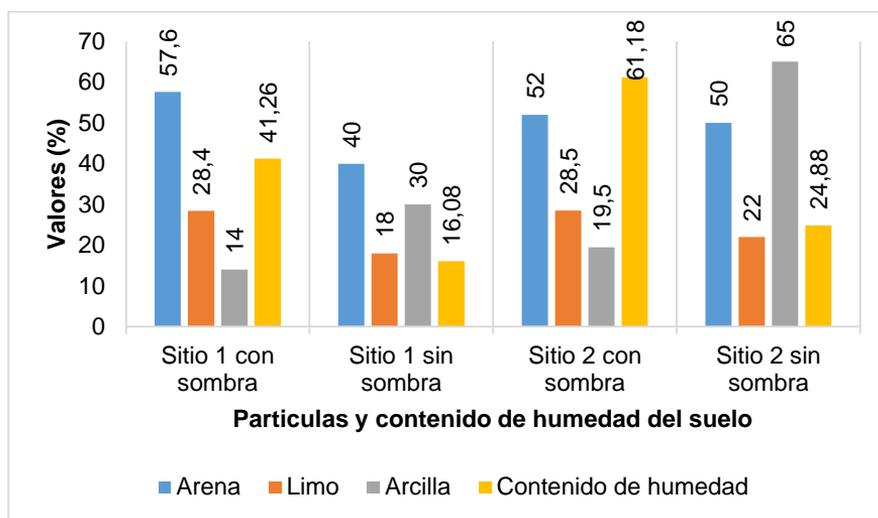
3.6.2. Sombra y propiedades físicas del suelo

Las partículas de arena, limo y arcilla, así como el contenido de humedad del suelo, se encuentran influenciadas por la presencia de los árboles con sombra. Las partículas de arena y limo se presentan

con valores superiores en el suelo bajo sombra, mientras las de arcilla presentan valores más altos en el suelo sin sombra. En cuanto a la humedad, esta es superior en el suelo con la presencia de sombra (Figura 18).

Figura 18

Propiedades físicas del suelo bajo sombra y sin sombra



Nota. Adaptado de Farinango (2018).

3.6.3. Sombra y calidad de pastos

La sombra influye positivamente en la calidad de los pastos. Ocampo (2018), en un estudio realizado en un sistema silvopastoril, determinó que los porcentajes de humedad, proteína y cenizas fueron superiores en el pastizal bajo sombra de *A. nepalensis*, con respecto a los que se encontraban sin la presencia arbórea y, por ende, expuestos a pleno sol.

3.6.4. Sombra y ecología

La literatura señala la influencia de la sombra en otros aspectos ecológicos; tal es el caso del microclima, control de plagas y enfermedades, fijación de carbono y en mantener la biodiversidad (Primavesi, 1984; Soto-Pinto y Jiménez, 2018).

3.6.5. Sombra y autosombra

La sombra se analiza de la especie forestal y la autosombra de la especie agrícola. Un estudio de la sombra, realizado en el sistema *A. nepalensis* con café, determinó el 92,87 % de sombra en el sistema agrosilvícola, pues los árboles de aliso aportan con el 36,85 %; y el café, la autosombra, con el 56,02 %. El área de copa del aliso se presentó de manera heterogénea; se encontró desde 67,35 m² hasta 99,63 m²; se determinó una relación directamente proporcional entre la altura del árbol y el área de copa: a mayor altura, mayor área de copa (Valles, 2021).

Barrantes (2013) sugiere que el porcentaje de sombra que los cafetos necesitan debe ser del 25 al 35 %. Para la autosombra de café, Pérez y Suárez (2011) recomiendan 49 %. De acuerdo con estos dos autores, el sistema mencionado de *A. nepalensis* con café presenta un exceso de sombra. El exceso de sombra afecta el rendimiento del cultivo de café; por lo tanto, es recomendable aplicar intervenciones silviculturales, como podas y raleos (ver capítulo 8, Manejo silvicultural).

3.7. Fauna

Dos investigaciones se desarrollaron para determinar la fauna asociada a ecosistemas y agrosistemas donde se encuentra *A. nepalensis*. Fueron los realizados por Ocampo (2018) y Proaño (2021), donde se comparó la fauna presente en sistemas agroforestales de los que forma parte *A. nepalensis*, con monocultivos de especies agrícolas y pastos.

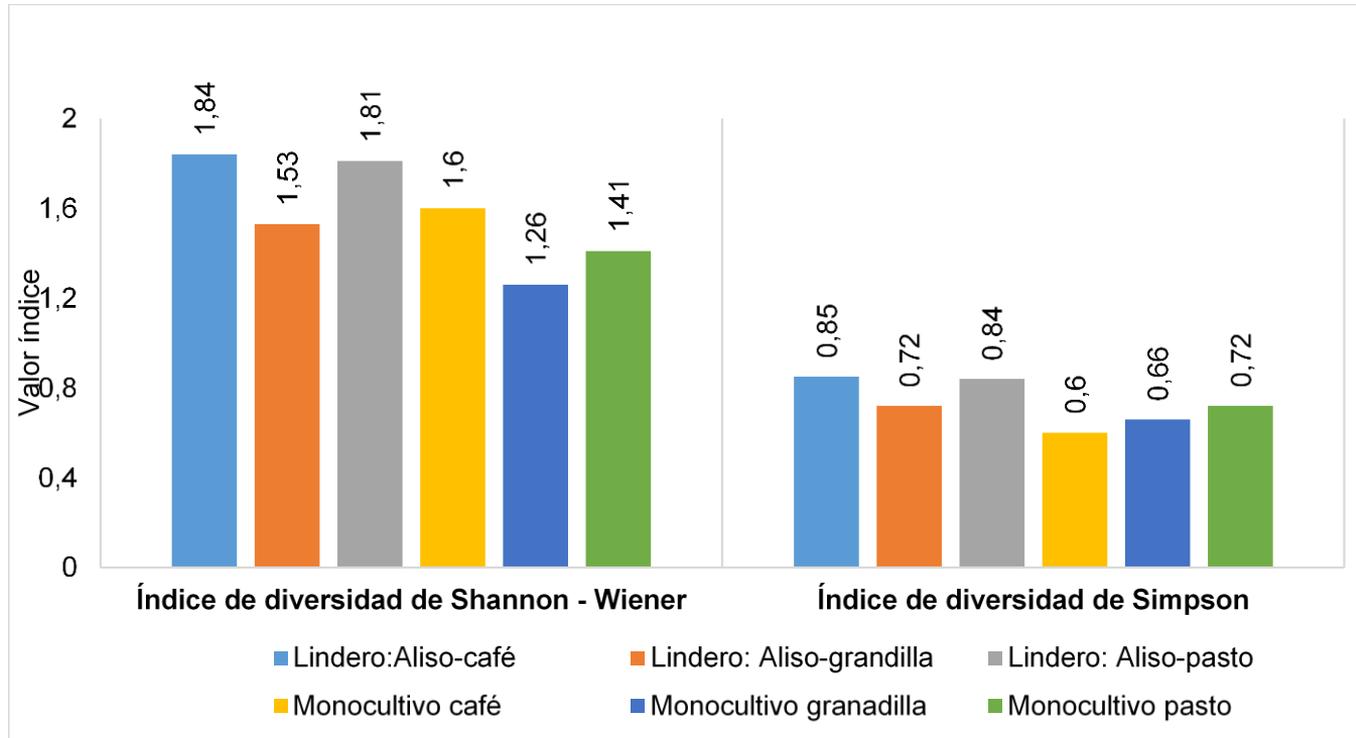
Las investigaciones se efectuaron en dos sistemas agrosilvícolas y dos silvopastoriles. Los dos primeros están estructurados con la especie *A. nepalensis* en asocio con café *Coffea arabica*, y el otro, con granadilla *Passiflora ligularis*. En los sistemas silvopastoriles, se asocia *A. nepalensis* con pasto *Setaria sphacelata*; en un caso y en el otro, con *Brachiaria decumbens* Stapf. Los grupos de especies de fauna analizados fueron aves e insectos.

3.7.1. Diversidad de aves

Para el análisis de la diversidad de aves se utilizaron los Índices de Shannon – Wiener y Simpson. Los resultados registraron mayor índice de diversidad de aves en los sistemas agrosilvícolas y silvopastoriles, en comparación con los monocultivos (Figura 19).

Figura 19

Índice de diversidad de aves



Nota. Adaptado de Proaño (2021).

En cuanto al orden de los insectos, Hymenóptera es el de mayor presencia, tanto en sistemas agroforestales como en monocultivos, aunque se registra el mayor número de individuos en el lindero aliso-granadilla. Las especies de aves con mayor presencia son: gorrión *Passer domesticus*, tortolita *Columbina talpacoti*, virachuro *Leptopogon* sp, quilico *Falco sparverius*, jilguero *Carduelis carduelis*, mirlo *Turdus merula*, halcón *Falco peregrinus*, gavilán *Accipiter nisus* y gallo de la peña *Rupicola peruvianus*.

Algunos estudios corroboran la mayor biodiversidad en sistemas agrosilvícolas donde se asocia café con especies forestales. Se concluye que los cafetales conservan por lo menos 40 % de las especies de la vegetación natural; son hábitat de una gran cantidad de especies de flora, fauna, hongos, musgos y otros microorganismos poco estudiados; además, de constituir corredores biológicos y redes de interacción biológica, así como contribuir a la complejidad del paisaje, lo que abona a la conservación de recursos naturales, y de múltiples funciones ecosistémicas, socioculturales y estéticas (Philpott et al., 2008).

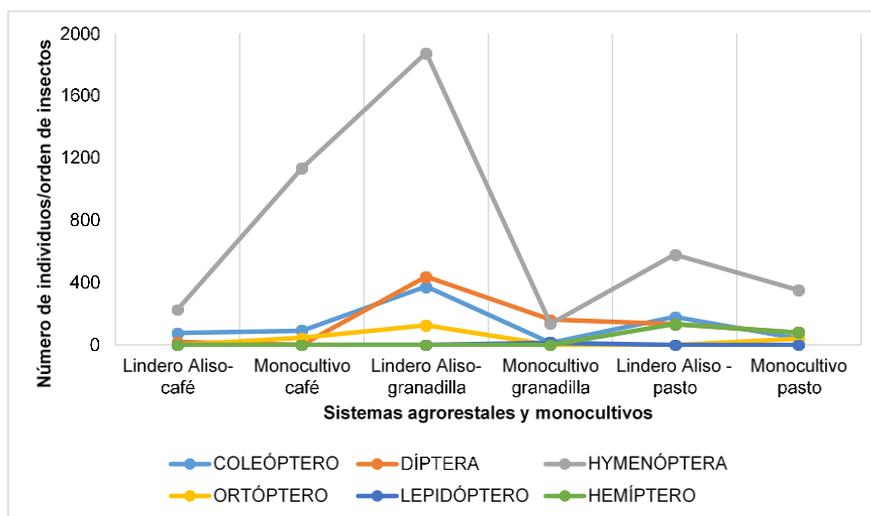
3.7.2. Diversidad de insectos

La mayor diversidad de insectos se presenta en el sistema aliso-granadilla (Figura 20). La mayoría son benéficos para la ecología del sitio, y algunos se consideran plagas para el cultivo de granadilla; se observó, de acuerdo con la metamorfosis de los insectos, una gran mayoría en estado adulto y larvario; también la época de análisis es un factor que se debe considerar, puesto que los cambios en el tipo y número de especies pueden variar de una época a otra, respecto al

comportamiento de la temperatura, precipitación y ciclo fenológico de la especie forestal, y especies de cultivos agrícolas y pastos.

Figura 20

Índice de diversidad de insectos



Nota. Adaptado de Proaño (2021).

En cuanto al orden de los insectos, Hymenóptera es el de mayor presencia, tanto en sistemas agroforestales como en monocultivos, aunque se registra el mayor número de individuos en el lindero aliso-granadilla. Los órdenes que siguen con mayor presencia son: Díptera y Coleóptero; con menor presencia se encuentran Hemíptero, Ortóptero y Lepidóptero; este último solo se encuentra en el monocultivo de granadilla.

Se concluye la existencia de la mayor presencia de fauna en los sistemas agroforestales, en comparación con monocultivos.

3.8. Flora

Campo (2021) investigó la flora asociada a *A. nepalensis*. El estudio se realizó en un bosque en etapas de sucesión temprana, donde *A. nepalensis* forma parte de la composición florística y estructura de dicho bosque. El estudio se realizó en la Reserva Hídrica El Paraíso, correspondiente al bosque siempre verde montano de la Cordillera Occidental de los Andes del Ecuador (BsMn03) (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2013).

3.8.1. Composición florística

Exceptuando *A. nepalensis*, las especies presentes son el resultado de procesos de regeneración natural. En parcelas de 500 m² se encontraron nueve familias, diez géneros, diez especies y 72 individuos; de estos últimos, el 73 % corresponden a *A. nepalensis* (Tabla 2).

Tabla 2

Especies presentes en el bosque mixto

Nº	Familia	Género	Especie	Nº de individuos
01	Asteraceae	<i>Baccharis</i>	<i>brachylaenoides</i> DC	2
02	Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>nepalensis</i> D.Don	45
03	Boraginaceae	<i>Tournefortia</i>	<i>scabrida</i> Kunth	2
04	Clethraceae	<i>Clethra</i>	<i>ovalifolia</i> Turcz	4
05	Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	<i>magdalenensis</i> Müll.Arg.	2
06	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>laurifolia</i> Juss.ex Lam.	1
07	Fabaceae	<i>Inga</i>	<i>insignis</i> Knuth	2
08	Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	<i>chinensis</i> Roxb.	1
09	Proteaceae	<i>Roupala</i>	<i>obovata</i> Kunth	2
10	Myricaceae	<i>Morella</i>	<i>pubescens</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	2

3.8.2. Diversidad de especies

La caracterización cuantitativa de la comunidad ecológica (comunidad ecológica=grupo de poblaciones que comparten un mismo sitio durante cierto tiempo determinado) está representada por su grado de complejidad, definida como diversidad; en este caso, se determinaron tres índices de heterogeneidad de especies, tomando como base la información obtenida en la medición total de la población ecológica (población ecológica=grupo de organismos de la misma especie, o individuos que habitan una misma zona geográfica determinada).

Para conocer la diversidad de las especies, se recurrió al cálculo de los índices de diversidad de dominancia de Simpson, Índice de diversidad de Shannon-Weaver y Margalef. Los resultados indican un índice de diversidad media.

3.8.3. Estructura horizontal

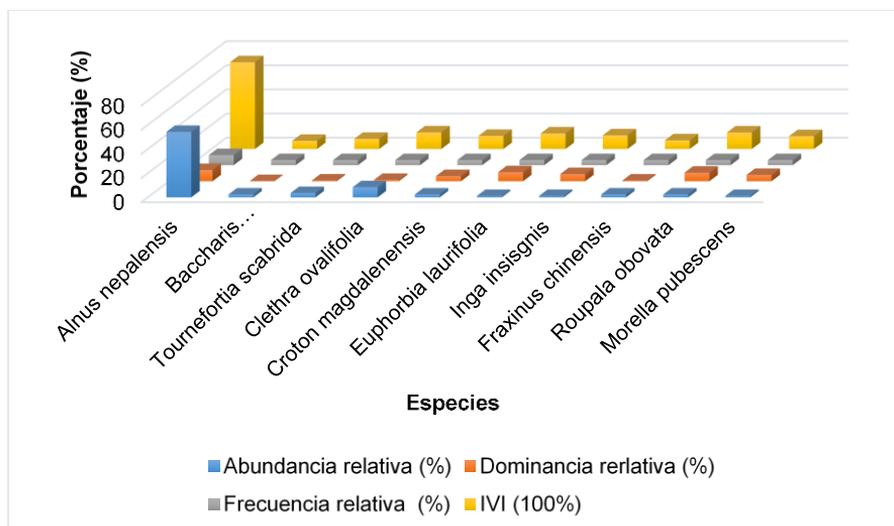
Las poblaciones de especies que conforman el bosque donde se encuentra *A. nepalensis* no están solas; forman parte de un ensamblaje con otras poblaciones estructuradas en la misma área de bosque. Las interacciones existentes entre estas poblaciones de especies forman una asociación, cuyo grado genérico es definido por la abundancia, dominancia y frecuencia de las especies.

Los parámetros ecológicos analizados en la estructura horizontal fueron: frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia relativa, que dan el valor a las especies en la población; por ello, se

constituyen en insumo para el cálculo del índice de valor de importancia (IVI) (Figura 21).

Figura 21

Estructura horizontal de bosque natural con inclusión de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Campo (2021).

A. nepalensis es la especie que presenta los mayores porcentajes en todos los parámetros ecológicos evaluados. Es la de mayor abundancia; sigue *Clethra ovalifolia*, en la categoría de rara; el resto de las especies se ubican en la categoría de muy raras. El área basal del bosque es de 1,49 m²/ha; la mayor dominancia relativa es de 9,31 %, perteneciente a *A. nepalensis*. El índice de valor de importancia (IVI), es de 71,86 % para *A. nepalensis*, que es la especie de mayor contribución en el carácter y estructura del bosque.

La presencia mayoritaria de *A. nepalensis* en toda la estructura y composición del bosque se debe, a más de factores ambientales favorables, a las características intrínsecas de la especie, esto es, su pertenencia al gremio ecológico de las heliófilas, ya que se trata de una especie introducida, que por naturaleza en otra zona ecológica diferente a la suya se vuelve agresiva.

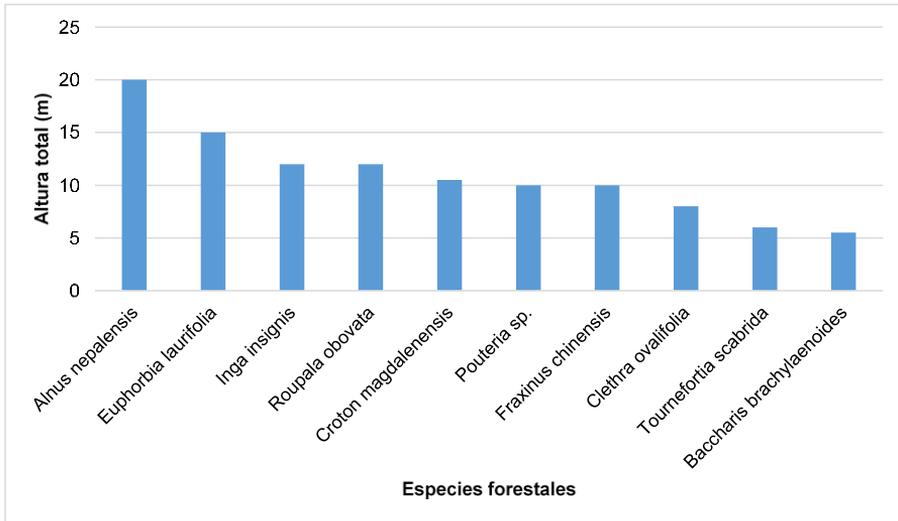
3.8.4. Estructura vertical

Además, de la estructura horizontal, otro elemento que permite analizar es el índice de distribución vertical de las especies, ya que se observa abundancia definida, por los estratos que aparecen en la población. En el presente caso del bosque con presencia de *A. nepalensis* se analizaron tres estratos.

En el estrato superior se encuentran siete especies y 10 individuos cuya altura es superior a los 10 m, donde sobresale *A. nepalensis*, con 20 m de altura. El estrato medio comprende tres especies y seis individuos con altura superior a 5 m y menor de 10 m. El estrato inferior, con cuatro individuos menores de 5 m de altura, cuenta con tres especies: *Baccharis brachylaenoides*, *Clethra ovalifolia* y *Tournefortia scabrida*, que también se encuentran en los otros estratos (Figura 22).

Figura 22

Estructura vertical de la flora asociada a A. nepalensis en un bosque con etapas de sucesión temprana



Nota. Adaptado de Campo (2021).

3.9. Alelopatía

La alelopatía es definida como un fenómeno biológico en el que un compuesto químico liberado por una planta tiene influencia sobre la supervivencia, crecimiento o reproducción de otra planta. Estos compuestos pueden representar efectos benéficos (alelopatía positiva) o perjudiciales (alelopatía negativa) para los organismos receptores. Los compuestos alelopáticos son liberados de las plantas al ambiente, por medio de la exudación de las raíces, lixiviación, volatilización y descomposición de los residuos de las plantas en el suelo (Oliveros, 2008).

Un estudio realizado en el Ecuador por Varela (2017) en la zona de Intag, sobre los efectos alelopáticos de *A. nepalensis* en cultivos agrícolas de importancia socioeconómica, mostró resultados de alelopatía positiva y negativa.

En la investigación se utilizaron raíces, corteza y hojarasca procedentes de árboles de *A. nepalensis*, de entre cinco a diez años de edad. Las partes vegetativas fueron aplicadas mediante un extracto acuoso, al 2 % de concentración, a semillas y plántulas en crecimiento inicial, de las especies agrícola tomate de árbol (*Solanum betaceum*), café (*Coffea arabica*), maíz (*Zea mays*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*).

En estas cuatro especies agrícolas no hubo efectos alelopáticos en ninguna de las etapas de desarrollo. En la germinación de las semillas de fréjol se presentó alelopatía positiva, puesto que hubo un efecto estimulante. En café se presentó alelopatía positiva por medio de las hojas de *A. nepalensis*. En cambio, utilizando raíz y corteza, se registró alelopatía negativa en la fase de crecimiento inicial.

La especie que presentó mayores efectos, tanto alelopáticos como estimulantes, fue el tomate de árbol, en tanto que el material vegetal que mayores efectos causó fue la hoja. El tomate de árbol registró efecto alelopático, tanto en la fase de germinación, como en la de crecimiento inicial. En la de germinación, el efecto fue negativo en todas las variables evaluadas; se utilizaron las tres partes vegetativas de la especie forestal; en la de germinación, el efecto fue positivo; se utilizaron hojas de aliso de Nepal (Tabla 3).

Tabla 3*Efectos alelopáticos de A. nepalensis en cultivos agrícolas*

Proceso evaluado	Cultivo agrícola	VARIABLES evaluadas	Partes vegetativas de <i>A. nepalensis</i> utilizadas	Efecto alelopático			
Germinación	Fréjol	Longitud radicular	Raíz	Estimulante			
			Corteza	Estimulante			
			Hoja	Estimulante			
	Tomate de árbol	Porcentaje de germinación	Vigor germinativo	Raíz	Alelopático		
				Corteza	Alelopático		
				Hoja	Alelopático		
				Raíz	Alelopático		
				Corteza	Alelopático		
				Hoja	Alelopático		
				Hoja	Alelopático		
	Longitud radicular		Raíz	Alelopático			
			Corteza	Alelopático			
			Hoja	Alelopático			
			Crecimiento inicial	Tomate de árbol	Diámetro basal	Hoja	Estimulante
						Altura	Estimulante
						Número de hojas	Estimulante
Café		Diámetro basal	Hoja	Estimulante			
			Altura	Estimulante			
			Número de hojas	Estimulante			
			Raíz	Alelopático			
			Corteza	Alelopático			

Nota. Adaptado de Varela (2018).

3.10. Restauración

Cuando se pretende recuperar un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido, se recurre a la restauración. La ecología de la restauración es una ciencia multidisciplinaria que integra varios elementos; entre estos, la ecología de especies utilizadas para promover acciones de restauración.

Para recuperarse, la sucesión ecológica es la principal estrategia natural de los ecosistemas degradados. Consiste en un proceso natural de recambio en la riqueza y abundancia de especies y comunidades. Mediante la sucesión, se generan etapas de recambio de especies en el área perturbada. Cada una permite una recuperación progresiva de los atributos del área (Duarte et al., 2018).

Durante el proceso de sustitución de especies a lo largo del tiempo, la etapa de sucesión inicial presenta una predominancia de especies pioneras que se caracterizan por una alta capacidad reproductiva, dispersión efectiva y crecimiento rápido. Además, crecen estimuladas por la abundancia de luz, y algunas están adaptadas a suelos pobres en nutrientes. Como resultado de la hojarasca producida por la caída de hojas y ramas de las especies pioneras y las actividades de descomposición microbiana, los nutrientes del suelo aumentan, así como la sombra generada por los individuos pioneros (Begon et al., 2006).

A. nepalensis reúne todas las características antes descritas y, por tanto, tiene potencial para ser utilizada en procesos de restauración ecológica en la etapa inicial, puesto que pertenece al gremio ecológico de las heliófilas y, por tanto, es pionera de crecimiento rápido; caducifolia, lo cual aporta con abundante hojarasca que luego se convertirá en materia orgánica, fija nitrógeno y, las semillas son livianas, que se dispersan con el viento.

En el noroccidente de la provincia de Pichincha se ha llevado a cabo un proceso de restauración, utilizando *A. nepalensis*. Entre los atributos considerados de la especie es su alta capacidad de competencia con el pasto *Setaria sphacelata*; se desarrolla rápido y

sin necesidad de mantenimiento. Este pasto es difícil de erradicar para viabilizar procesos de restauración, lo cual desemboca en costos altos, situación que la presencia de *A. nepalensis* ha logrado superar.

La plantación de *A. nepalensis* generó condiciones habilitantes que contribuyeron para la recuperación de la diversidad vegetal. Se observó una tendencia creciente al incremento de la abundancia de especies. Esto ocurrió por cuanto *A. nepalensis* influyó en las condiciones edafoclimáticas del sitio, lo que dio lugar a disponer de una fuente de propágulos; además, la plantación de aliso provee una percha para aves dispersoras, y microclima favorable para el crecimiento de especies nativas, todo lo cual constituye factores importantes para el desarrollo de la regeneración natural (Duarte, s.f.).



Capítulo

4

Fenología

FENOLOGÍA



Nota. Inflorescencia masculina de *A. nepalensis*.

En el presente capítulo se aborda la fenología desde los estadios vegetativo y reproductivo. La fenología vegetativa está relacionada con el comportamiento caducifolio de la especie, puesto que los individuos pierden eventualmente las hojas; en la fenología reproductiva se analizan los cambios anuales en el ciclo reproductivo de las distintas fenofases.

4.1. Definición de fenología

Fenología es un término que se deriva del griego *phaínein* (mostrar) y *logos* (tratado); forma parte de una rama de la ecología. La fenología, como ciencia, comprende el estudio y la observación de los estadios de desarrollo vegetativo y reproductivo de animales y plantas en relación con los parámetros ambientales.

La fenología vegetal es una disciplina fenomenológica, es decir, fundamentalmente descriptiva y de observación que requiere método y precisión en el trabajo de campo; utiliza conocimientos de fisiología, ecología y climatología, y tiene aplicaciones sobre todo en agricultura pero también en ganadería, silvicultura y conservación de la naturaleza (Cara, 2006).

Así mismo, Cara (2006) considera fases fenológicas (fenofases) a los fenómenos observables que comprenden cambios o transformaciones en un corto periodo de tiempo; el intervalo que ocurre entre dos fases sucesivas se denomina etapa. Para describir y estudiar la fenología es necesario conocer el desarrollo de cada fase fenológica y su interacción dentro del medio.

Para el estudio fenológico de *A. nepalensis* se consideró una etapa que comprendió dos fases: la primera, entre los años 2018 y 2019, y la segunda, entre 2019 y 2020. También se estudió el comportamiento vegetativo y reproductivo. En la fenología vegetativa se analizaron las fenofases o eventos de hoja en brotación, hoja madura y defoliación; y en la reproductiva, la inflorescencia, fruto joven y fruto maduro (Matango, 2019; Mora, 2021). Se analizó

la altitud, por cuanto esta influye en la fenología de las especies forestales en general y de *A. nepalensis* en particular.

4.2. Fenología del desarrollo vegetativo

Los árboles se clasifican en deciduos o caducifolios cuando se quedan sin hojas en alguna época del año; o como siempre verdes o perennifolios, si nunca quedan defoliados por abscisión. Las especies que tienen una amplia distribución geográfica pueden comportarse como caducifolias en un hábitat y como perennifolias en otro (Angst et al., 2017).

Alnus nepalensis en el Ecuador se comporta como un árbol caducifolio al igual que en su lugar de origen (Joker, 2000). Es posible que la especie efectúe la pérdida eventual de las hojas para minimizar los efectos de las diferentes fuentes de estrés; entre estas, la época seca.

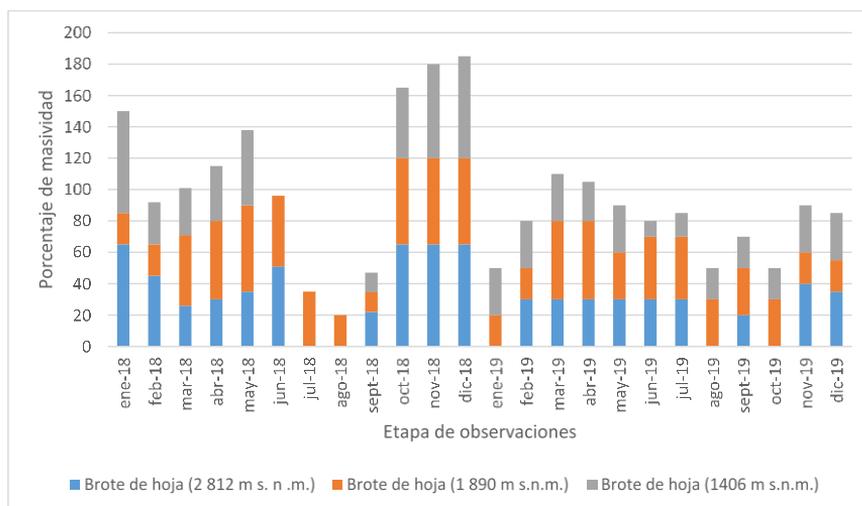
Las investigaciones realizadas por Matango (2019) y Mora (2021) dan cuenta de cambios anuales en el comportamiento de las fenofases: brote de hoja, hoja madura y defoliación.

4.2.1. Brote de hoja

Los brotes de las hojas se presentan en diferentes masividades y en distintas épocas. Si comparamos el año 2018 con 2019, podemos observar en el primero, la masividad máxima alcanza el 65 % y permanece con este porcentaje en el último trimestre del año, en tanto que, en el año 2019, solo alcanza el 40 % en el mes de noviembre (Figura 23).

Figura 23

Fenología de brote de hojas de A. nepalensis a diferentes altitudes



Nota. masividad baja ($IP < 0.5$); masividad débil ($IP = 0.5$ y < 1); masividad media ($IP = 1$ y < 2) y masividad intensa ($IP = > 2$).

En el análisis comparativo en tres rangos altitudinales, se observan comportamientos diferentes: mientras a 2 812 m s.n.m. y a 1 406 m s.n.m. se presentan los mayores porcentajes de masividad (65 %); en el rango medio altitudinal a 1 890 m s. n. m. se presentan los menores porcentajes de masividad (12,5 %). Por otro lado, en los sitios de mayor y menor altura, se registran meses donde no hubo brotación –julio y agosto en ambos casos–, en tanto que en el sitio de altitud media se presentaron brotes de hojas todos los meses.

4.2.2. Hoja madura

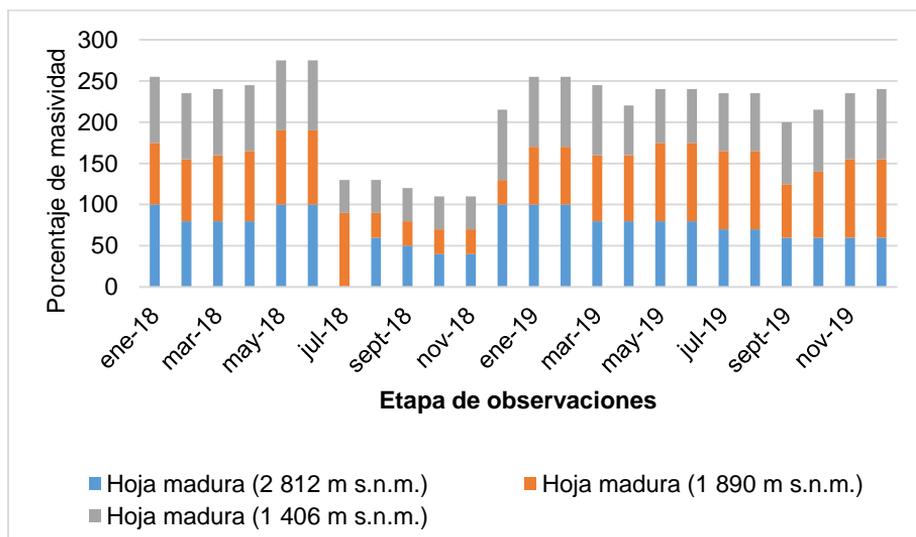
La presencia de hojas maduras fue intensa durante el ciclo de investigación 2018-2019. La fenofase entre mayo-junio de 2018 y enero-marzo de 2019, se mantuvo entre 80 y 100 %; luego, entre julio

y noviembre de 2018, y septiembre-octubre de 2019 se produjo un decaimiento al 60 y 79 % de intensidad (Figura 24).

Cabe mencionar que durante los dos años de estudio, en ningún sitio los individuos de *Alnus nepalensis* D. Don permanecieron sin hojas debido al rápido crecimiento de sus hojas individuales. La producción constante de hojas maduras se debe, probablemente, a los factores ambientales que se suscitaron en condiciones favorables en los sitios de investigación. Además, se debe a que la brotación está en manifestación continua, lo que permite que el espécimen siempre tenga hojas.

Figura 24

Fenología de hojas maduras de A. nepalensis a diferentes altitudes



En lo fisiográfico, los valores más altos de masividad se presentaron en los sitios de mayor altitud –2 812 m s.n.m.–, con 100 % y 95 %, respectivamente. En el sitio ubicado a 1 406 m s.n.m., el valor mayor de masividad fue del 85 %.

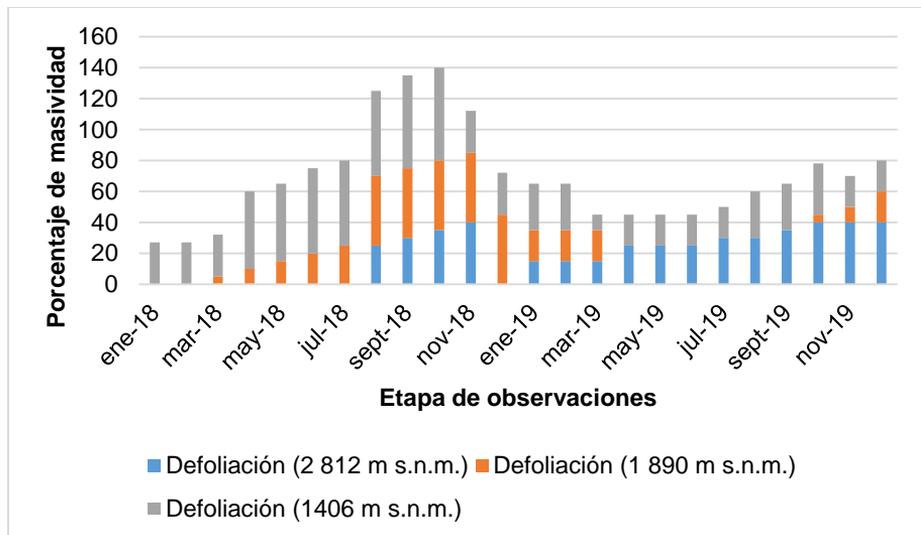
4.2.3. Defoliación

La pérdida de follaje sucedió de manera creciente desde marzo a octubre de 2018, con una masividad baja en los meses de enero y febrero hasta alcanzar una masividad intensa en agosto, septiembre y octubre; a partir de noviembre de 2018, la defoliación disminuyó al 27 %, y mantuvo la categoría de media hasta junio de 2019 (Figura 25).

En la defoliación se observó que, mientras la brotación de hojas nuevas y la presencia de hojas maduras mostraban una tendencia decreciente, la fenofase de defoliación se acrecentaba.

Figura 25

Fenología de la defoliación de A. nepalensis a diferentes altitudes



En esta fenofase de defoliación, el sitio de menor altitud (1 406 m s.n.m.) fue el más afectado que los de mayor altitud.

En Nepal, la defoliación de *A. nepalensis* se observa entre enero a marzo, en tanto que, en el Ecuador, los meses de mayor defoliación corresponden entre julio y diciembre, con masividad promedio del 35 %.

4.3. Fenología del desarrollo reproductivo

Estudios realizados por Matango (2019) y Mora (2021), dan cuenta de cambios anuales en el comportamiento de las fenofases inflorescencia masculina, fruto joven y fruto maduro. Esto se debe a la espontaneidad que esta especie refleja, la cual es influenciada por factores fisiográficos (altitud sobre el nivel del mar), ambientales (vientos), mecanismos genéticos y fisiológicos.

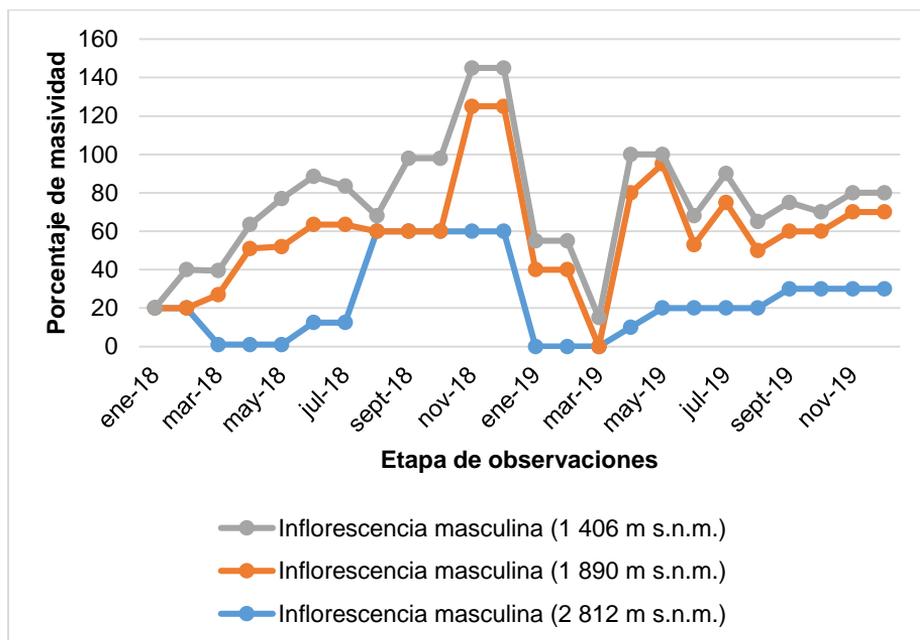
4.3.1. Inflorescencia masculina

Estudios comparativos realizados en los años 2018 y 2019, muestran comportamientos diferentes a lo largo de los distintos meses de la presencia de las inflorescencias masculinas (Figura 26).

En el año 2018 se observó que la fenofase de la floración presentó un desarrollo de masividad entre media e intensa, con variaciones en la producción. Media fue la más frecuente, con una expresión entre 26 y 50 %, mientras que la intensa se manifestó en los intervalos de mayo-julio de 2018, y noviembre-diciembre de 2018, cuando la expresión fenológica presentó valores del 51 y 65 % (Matango, 2019).

Figura 26

Comportamiento de la inflorescencia masculina de A. nepalensis en dos fases de estudios



Nota. masividad baja ($IP < 0.5$); masividad débil ($IP = 0.5$ y < 1); masividad media ($IP = 1$ y < 2) y masividad intensa ($IP = > 2$).

En los meses de abril y mayo del año 2019, la inflorescencia masculina tuvo una masividad intensa, mayor del 70 % (Figura 27). En el mes de junio presentó 33 % de masividad media. En el mes de julio presentó una expresión de 55 %. Entre los meses de agosto a febrero, se mantuvo con una presencia del 30 al 40 % de expresión, es decir, una masividad media (Mora, 2021).

Figura 27

Inflorescencia masculina de A. nepalensis



En sitios con presencia de vientos, la actividad reproductiva como la floración, se han visto afectadas. A causa de este fenómeno, la mayor parte de las inflorescencias se desprendían con facilidad de sus ramitas al igual que los frutos no alcanzaban su madurez fisiológica. Así, en agosto de 2019, en un sitio ubicado a 1 400 m s.n.m. solo se encontró un 8 % de inflorescencias.

La altitud sobre el nivel del mar influye en la inflorescencia masculina. En los estudios realizados por Matango (2019) y Mora (2021), se encontró en un sitio a 1 406 m s.n.m. una inflorescencia del 38 %, entre septiembre y noviembre. En otro sitio, a una altitud de 1 890 m s.n.m. el 80 % de los individuos de *A. nepalensis* permanecieron con inflorescencia todo el año, en tanto que, en un sitio a 2 812 m s.n.m., la inflorescencia alcanzó el 65 %, entre noviembre y diciembre.

4.3.2. Frutos jóvenes

En frutos jóvenes (Figura 28) no existen variaciones en cuanto a los meses de mayor presencia, aspecto contrastado en los análisis realizados entre los años 2018 y 2019 (Matango, 2019; Mora, 2021). La época de mayor fructificación se sitúa entre junio y julio.

Figura 28

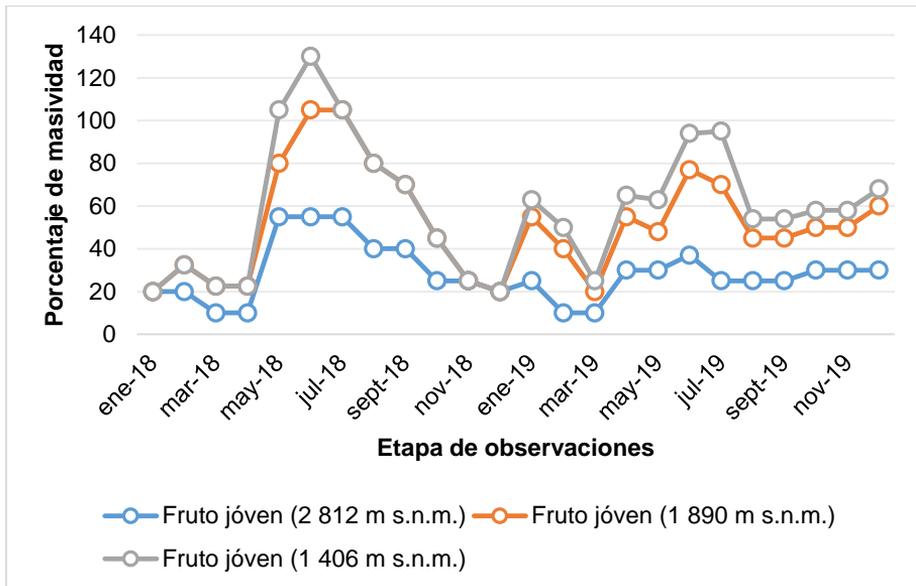
Fruto joven de A. nepalensis



La fenofase fruto joven presentó un decaimiento en los meses de abril y mayo, pues pasó del 25 al 18 % de intensidad, respectivamente. En los meses junio y julio se obtuvo la intensidad más alta, con porcentajes del 40 y 45 %. Entre agosto-febrero, la expresión de la variable estuvo en 20 y 30 %, y presentó una masividad media. En los meses mayo de 2019 y marzo de 2020, se obtuvieron los menores niveles de masividad, categoría baja (Figura 29).

Figura 29

Comportamiento de los frutos jóvenes de A. nepalensis en dos fases de estudios



Nota. Masividad baja ($IP = < 0.5$); masividad débil ($IP = 0.5$ y < 1); masividad media ($IP = 1$ y < 2) y masividad intensa ($IP = > 2$).

La altitud (m s.n.m.) influye en la producción de frutos jóvenes, tanto en cantidad, como en frecuencia. Mientras el valor más bajo en cuanto a presencia de frutos jóvenes en sitios ubicados a 1 890 y 2 812 corresponde a un 25 %, este mismo valor es el más alto en el sitio localizado a 1 406 m s.n.m. En los sitios de mayor altitud, la fructificación se observó en todos los individuos de *A. nepalensis* presentes en las áreas; en el sitio de menor altitud no fue así, solo fructificaron pocos árboles. La fructificación se presentó con una masividad débil, del 10 %, en los meses de febrero y marzo, en los sitios de mayor altitud; en el sitio a 1 406 m s.n.m., fue del 0 %.

En los sitios de mayor altitud se pueden encontrar frutos jóvenes durante siete meses, entre abril y octubre; su presencia varía del 10 % al 55 %; a 1 406 m s.n.m. esta fenofase ocurre en tres meses, de mayo a julio.

4.3.3. Frutos maduros

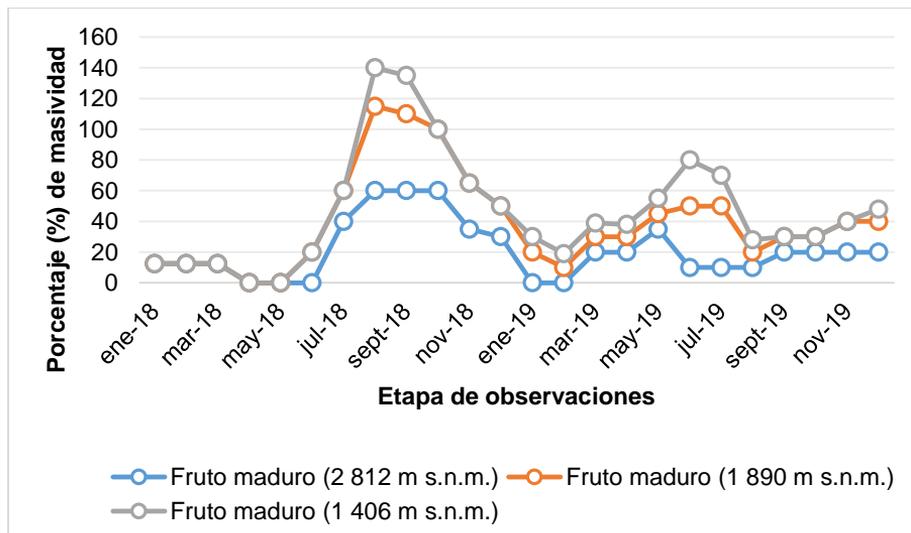
La investigación realizada durante 2018 y 2019, dio cuenta de la presencia mayoritaria de frutos maduros en el mes de agosto; sin embargo, entre los años 2020 y 2021 hubo un cambio, y la maduración se presentó en el mes de mayo. En el primer período de tiempo se registraron masividades intensa, media y baja; en el segundo fueron media, débil y baja, y no hubo masividad intensa.

Entre los años 2018 y 2019, la aparición de frutos maduros empezó en el mes de junio con 20 %; subió a un 40 % en el mes de julio, lo cual representa una masividad media; posteriormente, en agosto, se presentó la masividad intensa con 60 %; y, a partir de septiembre, desciende al 50 % hasta llegar al mes de noviembre con 30 %, que constituye la masividad baja del período (Figura 30).

Entre los años 2020 y 2021, la masividad en el mes de abril fue del 35 %; luego, en mayo, del 40 %, considerada media; posteriormente, entre junio y julio, se registró un 30 %; continuó esta baja hasta llegar a los meses de agosto-enero, con el 20 al 10 %, débil. Lo anterior explica ya que se observan frutos permanentemente en los árboles de *A. nepalensis*, puesto que durante diez meses es posible encontrar frutos, aunque en cantidades diferentes.

Figura 30

Comportamiento de frutos maduros de A. nepalensis en dos fases de estudio



Respecto a la altitud, la mayor masividad de frutos maduros se encontró a 2 812 m s.n.m. con 60 % de masividad, seguido de cerca con 55 % de masividad a 1 890 m s.n.m. y 25 % de masividad a 1 406 m s.n.m. En los tres sitios coincidió que la mayor presencia de frutos ocurrió en el mes de agosto, durante el período de estudio 2018-2019 (Matango, 2019).

Entre los años 2020-2021, los períodos de tiempo y maduración cambiaron; la mayor masividad se presentó a 1 890 m s.n.m., de un 40 % entre junio y julio, seguida de un 35 % durante el mes de mayo, a 2 812 m s.n.m., y 30 % en junio, a 1 406 m.s.n.m. (Mora, 2021). Los dos estudios permiten concluir la influencia de la altitud en la reproducción de la especie.

Es importante señalar que el momento adecuado para la recolección de semillas y para evitar que pierdan su viabilidad, es cuando los frutos están maduros, esto es, cuando presentan un color amarillo con ligeras tonalidades marrón (Figura 31); se evitará recolectar semillas cuando los frutos están con color marrón.

Figura 31

Frutos maduros de A. nepalensis



En los estudios fue posible observar varias fenofases en un solo árbol e incluso, en una sola rama de un individuo donde se aprecian inflorescencias masculinas, frutos jóvenes, frutos maduros así como frutos secos y sobremaduros de ciclos anteriores, que han persistido durante meses; esto se debe a la secuencia de las distintas fases y los rezagos que quedan de cada una (Figura 35).

En resumen, el ciclo reproductivo de *A. nepalensis* se efectúa en diez meses, de abril a enero; sin embargo, la ocurrencia mayoritaria se presenta, en un 70 %, en las inflorescencias masculinas, entre los meses de abril y mayo; en los meses de junio y julio se observa la masividad más alta en los frutos jóvenes, en un 55 %; julio y agosto son los meses donde se observa la mayoría de los frutos maduros en un 60 % de masividad; esta es la más alta.

4.4. Calendario meteoro-fenológico

Con los estudios realizados se confirmó el desarrollo vegetativo y reproductivo en los años 2018 y 2020, donde individuos pertenecientes a la misma especie *A. nepalensis*, al encontrarse a tres altitudes diferentes presentaban variaciones en su fenología, lo cual lleva a desarrollar calendarios fenológicos diferenciados para cada sitio; estos calendarios son conocidos también como calendarios meteoro-fenológicos, nombre que se adopta en la presente publicación.

4.4.1. Calendario meteoro -fenológico para individuos ubicados a 2 812 m s.n.m.

Entre abril de 2019 y marzo de 2020, la foliación fue constante en este sitio, entre 26-50 %; la intensidad de la hoja madura fue alta, pues alcanzó una intensidad entre 70 y 100 %; los frutos jóvenes se mostraron en el periodo abril-junio, y su maduración se manifestó con mayor evidencia en el mes de mayo, tal como muestra la Tabla 4.

Tabla 4

Calendario meteoro-fenológico para individuos de A. nepalensis ubicados a 2 812 m s.n.m.

Eventos	2019									2020		
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ENE	FEB	MAR
Brotadura de hoja												
Hoja madura												
Defoliación												
Floración												
Fruto joven												
Fruto maduro												
Leyenda	Brotación		Hoja madura		Defoliación		Floración		Fruto joven		Fruto maduro	
	1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %	
	26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %	
	51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %	
	76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %	

Nota. Adaptado de Mora (2021).

4.4.2. Calendario meteoro -fenológico para individuos ubicados a 1 890 m s.n.m.

Este sitio es el que mejores condiciones presenta para el crecimiento y desarrollo de los individuos de la especie *A. nepalensis*. La brotadura de la hoja se manifiesta intensamente constante durante todo el año, aunque destaca el mes de abril; la hoja madura se mostró de modo sobresaliente durante el periodo, con un rango de manifestación del 76-100 %; la defoliación se manifestó en septiembre; sin embargo, durante los meses de abril, julio y octubre, también se mostró con valores de intensidad del 26-50 %. La floración apareció con una mayor manifestación en abril y mayo, con el 70 % de intensidad; los frutos jóvenes y la maduración aparecieron en similitud durante los meses de junio, julio y septiembre (Tabla 5).

Tabla 5

Calendario meteoro-fenológico para individuos de A. nepalensis ubicados a 1 890 m s.n.m.

Eventos	2019									2020		
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ENE	FEB	MAR
Brotadura de hoja												
Hoja madura												
Defoliación												
Floración												
Fruto joven												
Fruto maduro												
Legenda	Brotación		Hoja madura		Defoliación		Floración		Fruto joven		Fruto maduro	
	1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %	
	26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %	
	51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %	
	76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %	

Nota. Adaptado de Mora (2021).

4.4.3. Calendario meteoro-fenológico para individuos ubicados a 1 406 m s.n.m.

Este sitio resultó ser menos apropiado para el crecimiento y desarrollo de la especie, lo cual se refleja en el calendario fenológico donde se aprecian niveles bajos de masividad en la mayoría de las variables observadas (Tabla 6), donde es posible que se deba a los períodos de ocurrencia de las etapas fenológicas de las especies de las zonas bajas, en el cual se exhibe una mayor estacionalidad que en las especies de las zonas altas.

La brotación de la hoja se manifestó en abril y mayo, en un rango del 26-50 % de intensidad; la presencia de hoja madura fue aguda durante todo el año; la defoliación se manifestó en abril, mayo y octubre con un rango de intensidad del 26-50 %; durante todo el año de estudio, la floración fue baja en un rango del 1-25 % de intensidad; hubo aparición de fruto joven y maduración, en los meses de junio y julio, en un rango del 25-50 % de intensidad.

Tabla 6

Calendario meteoro-fenológico para individuos de A. nepalensis ubicados a 1 406 m s.n.m.

Eventos	2019								2020			
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ENE	FEB	MAR
Brotadura de hoja												
Hoja madura												
Defoliación												
Floración												
Fruto joven												
Fruto maduro												
Legenda	Brotación		Hoja madura		Defoliación		Floración		Fruto joven		Fruto maduro	
	1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %		1 - 25 %	
	26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %		26 - 50 %	
	51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %		51 - 75 %	
	76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %		76 - 100 %	

Nota. Adaptado de Mora (2021).



Capítulo

5

Semillas



Nota. Textura de las semillas de *Alnus nepalensis* D. Don. Fuente: Puente (2022).

El capítulo semillas está estructurado en siete temas. Se inicia con una explicación sucinta del ingreso de las primeras semillas de *A. nepalensis* al Ecuador; posteriormente, se trata la morfología de las semillas de la especie; la relación entre parámetros morfológicos; la clasificación de las semillas a base de cuatro criterios; la recolección de semillas; las técnicas para el manejo de semillas post recolección y análisis de semillas mediante la utilización del protocolo de las normas International Seed Testing Association (ISTA).

5.1. Las semillas de *Alnus nepalensis* en el Ecuador

Las primeras semillas de *A. nepalensis* se introdujeron en el Ecuador en el año 1990, importadas por medio de la empresa internacional de semillas conocida como SETROPA (Seeds The Root of Man-Made Forests), que se dedicaba a la comercialización de semillas de árboles, arbustos, y pastos tropicales y subtropicales. SETROPA tenía la sede en la ciudad de Bussum, Países Bajos. La importación la efectuó CARE INTERNATIONAL, sede Ecuador.

Se construyó un vivero temporal en la cabecera parroquial de la parroquia 6 de julio de Cuellaje, perteneciente al Municipio de Cotacachi, provincia de Imbabura, donde se almacenaron las semillas que luego se convertirían en las primeras plántulas que una vez que alcanzaron el tamaño adecuado, fueron plantadas en el sitio definitivo, bajo diferentes sistemas de plantación y arreglos agroforestales.

5.2. Morfología de la semilla

Las principales características por las que las semillas viables de *A. nepalensis* pueden distinguirse de la materia inerte, incluidas las semillas estériles y vacías, son: la forma, tamaño, textura superficial y color, todo lo cual se conoce como morfología de la semilla.

5.2.1. Forma

Las semillas presentan la forma harp-shaped (en forma de arpa), según la clasificación propuesta por Murley (1951).

5.2.2. Tamaño

Las semillas presentan en promedio 2,67 mm de largo y 2,03 mm de ancho (Puente, 2022).

5.2.3. Textura

En base a la clasificación que propone Bravato (1974), las semillas presentan una textura lisa en su mayoría, y otras, con pequeñas líneas de fractura.

5.2.4. Color

De acuerdo con la Tabla de Munsell, se determinó que a un mes de recolectada la semilla, el color se encuentra en el código Hue 10 YR, considerada como amarilla; posteriormente, adquiere una tonalidad marrón, café o negra; esta es la fase sobremadura cuando ha perdido su viabilidad (Sevilla, 2020).

5.3. Relación entre parámetros morfológicos y con otros del contexto semillas

Es importante no solo analizar los parámetros de la morfología por separado, sino las interacciones intrínsecas entre órganos de la planta, y las extrínsecas como madurez, peso de las semillas, dispersión de semillas y calidad de plántulas.

5.3.1. Relación frutos y semillas

Las semillas de *A. nepalensis* presentan madurez morfológica y fisiológica simultáneamente, lo que significa que la semilla puede germinar en cuanto se desprende del fruto.

5.3.2. Relación tamaño y peso de semillas

El tamaño de las semillas está relacionado con la cantidad de estas por unidad peso; entre más pequeñas son, mayor será su número por kilogramo, situación que ocurre con *A. nepalensis*.

5.3.3. Relación tamaño y dispersión de semillas

También el tamaño influye en la dispersión; la que se debe al viento se ve facilitada cuando las semillas son muy ligeras y pequeñas, como ocurre con *A. nepalensis*.

5.3.4. Relación tamaño de semillas y calidad de plántula

Si se considera deseable que el crecimiento de las plántulas en el vivero se produzca de manera uniforme, pueden clasificarse las semillas por tamaños.

El mayor porcentaje de germinación en el almácigo se ha obtenido de semillas pequeñas; no obstante, las plántulas que demostraron mejor calidad fueron las originadas en semillas grandes, lo que indica que el tamaño influye en la calidad de la plántula.

5.4. Clasificación de las semillas

Existen varios criterios para clasificar las semillas. Desde una óptica pragmática, los criterios utilizados para clasificar las semillas de *A. nepalensis* fueron cuatro: según requerimientos para el almacenamiento, tipo de germinación, gasto energético en la reproducción y según la longevidad natural de la semilla.

Según los requerimientos para almacenamiento, las semillas de *A. nepalensis* son ortodoxas, pues soportan la desecación y alcanzan la madurez en la planta madre. Se las almacena en estado seco por periodos determinados y por un tiempo prolongado, en condiciones específicas (ver 5.6.4.).

Según el tipo de germinación, las semillas de *A. nepalensis* son de germinación epigea (Figura 32), donde el hipocótilo se alarga y los cotiledones se elevan por encima del suelo. Los cotiledones intervienen en la fotosíntesis durante las primeras fases de crecimiento del germen.

Figura 32

Germinación epigea de A. nepalensis



Observaciones en laboratorio y luego en campo (Figura 32) mostraron que, tras la sujeción de la planta joven por la radícula, se produce un rápido alargamiento del hipocótilo, el cual se arquea hacia arriba por encima de la superficie del suelo, y después se endereza; al mismo tiempo, se hacen visibles los cotiledones y la plúmula, a los que en algunas ocasiones se puede observar que todavía está unida la cubierta seminal. Después, la plúmula se convierte en el tallo primario y las hojas fotosintéticas.

Según el gasto energético en la reproducción es una forma de clasificar las especies forestales en los ecosistemas tropicales. Así, se clasifican en dos grupos: las especies que son oportunistas (R), o en equilibrio (K) (Pires-O'brien y O'Brien, 1995).

A. nepalensis se clasifica como especie oportunista, por cuanto posee patrones de floración del tipo big bang, irregulares a lo largo de los años; produce grandes cantidades de flores, frutos y semillas pequeñas y livianas, generalmente dispersadas por el viento a distancias mayores, y comienzan a reproducirse más temprano que las especies en equilibrio.

Según la longevidad natural de la semilla, se refiere al tiempo en el cual la semilla puede permanecer viable aun sin germinar; esto se da por la calidad de la recolección, los tratamientos a que se sometan entre la recolección y el almacenamiento, y las condiciones de almacenamiento. Las semillas de *A. nepalensis* se clasifican como microbióticas, por cuanto el período vital es menor de tres años.

5.5. Recolección de semillas

La primera actividad antes de proceder a recolectar las semillas es identificar los rodales o fuentes semilleras; posteriormente, se seleccionan los árboles que serán los proveedores de semillas en cantidad y calidad. Es preciso realizar este proceso de acuerdo con los protocolos internacionales que existen para el efecto, tales como los elaborados por FAO, ITTO (Lombardi et al., 2014) y la norma ISTA (International Seed Testing Association, 2016). Para el estudio de *A. nepalensis* se ha utilizado la norma ISTA y el Manual de procedimientos para la identificación de fuentes semilleras y árboles plus (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2016).

5.5.1. Identificación de rodales y fuentes semilleras

Es un proceso previo a la selección definitiva de los árboles de donde se obtendrán las semillas; se identifican los rodales o fuentes semilleras que cumplen con los parámetros mínimos, según sea el caso.

5.5.1.1. Rodales semilleros.

En el área se identifican plantaciones puras, también conocidas como macizos (monocultivo de *A. nepalensis*). Un requisito es que se encuentren aisladas, para reducir la contaminación de polen de árboles inferiores. Se prefieren rodales que hayan sido sometidos a raleos de mejoramiento para dejar entre 100 y 250 árboles por hectárea, con características fenotípicas deseables.

Rodales con las características mencionadas, hacen suponer que tendrán una base genética amplia, con el 50 % de los árboles en

estado de fructificación y un área mínima de 1,0 hectárea, en caso de plantaciones.

5.5.1.2. Fuente seleccionada.

Esta fuente no cumple con uno o varios de los requisitos mencionados para rodal semillero, principalmente porque presenta problemas de aislamiento; posee menos de 100 árboles deseables por hectárea (plantaciones), o porque aún no ha sido sometida a clareos de mejoramiento (contiene más de 200 árboles por ha). Aun así, se considera que debe poseer una base genética amplia, una densidad que permita obtener un mínimo de 100 árboles por ha, y 50 % de ellos con características deseables.

5.5.1.3. Fuente identificada.

Está conformada por grupos de árboles que, por su baja densidad, poca área o porque no se halla un número suficiente de árboles por hectárea, no se clasifica dentro de la categoría anterior, pero puede utilizarse en forma temporal mientras se establecen fuentes más avanzadas. En esta categoría se encuentran principalmente los sistemas y prácticas agroforestales, de donde se obtiene la mayoría de las semillas en la zona de Intag.

En las tres fuentes semilleras descritas, es importante disponer de información sobre la tenencia legal del predio, para lo cual es indispensable contactar con su propietario; conocer su predisposición para permitir obtener semillas, en caso de que algunos de los rodales o fuentes resulten seleccionados, y conocer la historia de los individuos (procedencia de semilla y de las plántulas, técnicas de plantación y manejo silvicultural aplicadas).

5.5.2. Selección de árboles semilleros

El segundo paso para iniciar un proceso adecuado de recolección de semillas es la selección de árboles semilleros que se encuentran en el rodal o fuentes semilleras identificadas; para ello, se procede a evaluar con criterios cualitativos y cuantitativos, que tengan un enfoque hacia la producción de madera en cantidad y calidad y, en un periodo de tiempo relativamente corto.

Los criterios cualitativos se determinaron por las características fenotípicas y, los criterios cuantitativos por una evaluación dasométrica y la edad de los individuos.

5.5.2.1. Criterios cualitativos para evaluar árboles proveedores de semillas.

Se tomaron en cuenta cinco criterios cualitativos para evaluar los individuos con potencial de producir semillas: forma del fuste, ángulo de inserción de las ramas, forma de la copa, estado fitosanitario y dominancia (Tabla 7).

Tabla 7

Criterios cualitativos para seleccionar árboles proveedores de semillas

Criterios cualitativos	Características fenotípicas	Calificación
Forma de fuste	Recto y cilíndrico	4
	Ligeramente torcido	3
	Torcido	2
	Muy torcido	1
Ángulo de inserción de las ramas	De 60 ⁰ a 90 ⁰	4
	De 30 ⁰ a 60 ⁰	3
	De 0 ⁰ a 30 ⁰	2
Forma de copa	Columnar	4
	Semicolumnar	3
	Columnar irregular	2
	Pocas ramas	1
Estado fitosanitario	100 % sano	4
	75 % sano	3
	50 % sano	2
	25 % sano	1
Dominancia	Dominante	4
	Codominante	3
	Intermedio	2

En base de los criterios cualitativos, los individuos que se seleccionen para obtener semillas deberán ser los que posean fuste recto y cilíndrico; un ángulo de ramas entre 60 y 90⁰; la forma de copa, columnar; estar completamente sano (libre de plagas y enfermedades) y presentar dominancia.

5.5.2.2. Criterios cuantitativos para evaluar árboles proveedores de semillas.

Para la evaluación cuantitativa se utilizan variables dasométricas y de la edad (Tabla 8).

Tabla 8

Criterios cuantitativos para seleccionar árboles proveedores de semillas

Criterios cuantitativos	Características dasométricas	Calificación
Variables dasométricas		
Diámetro (cm) a 1,30 m del suelo	40-50	4
	10-40	3
	50-85	2
Altura total (m)	18-22	4
	22-28	3
	10-18	2
Diámetro de copa (m)	4-5	4
	5-6	3
	3-4	2
Edad		
Edad madura (años)	6-10	4
Edad senil (años)	10-15	3
Edad juvenil (años)	3-6	2

De acuerdo con los criterios cuantitativos, los árboles seleccionados para proveer semillas deberán poseer un DAP entre 40 y 50 cm; altura total entre 18 y 22 m, y un diámetro de copa entre 4 y 5 m.

La edad está relacionada con la madurez fisiológica y morfológica que haya adquirido la semilla; las características edafoclimáticas y fisiográficas del sitio, y los tratamientos silviculturales que haya recibido la especie forestal, de manera directa e indirecta.

La experiencia de los agricultores y de quienes han manejado semillas en la zona de Intag (provincia de Imbabura) y estudios publicados por Añazco et al. (2018), señalan que los mejores resultados en los procesos de germinación, obtención de plántulas de calidad y el crecimiento y desarrollo en el terreno definitivo, se lograron con semillas provenientes de árboles de edad madura, esto es, entre seis y diez años, lo cual coincide con los parámetros señalados en la Tabla 8.

5.5.3. Época de recolección

Está relacionada con las tonalidades que van adquiriendo los frutos, los cuales van cambiando de color a medida que se acercan a su fase de madurez; son de color verde en un principio; y, una vez que empieza su madurez, se tornan amarillos; luego, pasan a un color marrón amarillento con ligeras ranuras; este es el momento idóneo para recolectar las semillas; posteriormente, adquieren tonalidad café y negro; en ese caso, las semillas que aún se encuentren adheridas al fruto ya no son viables.

La época de recolección de frutos maduros varía de manera anual y bianual; entre los años 2018 y 2019, la mayor proporción de frutos maduros se presentó en el mes de agosto, en sitios localizados a diferentes altitudes. No obstante, hubo influencia de la altitud en la cantidad de frutos: en tanto que a 2 812 m s.n.m., el porcentaje máximo de masividad fue del 60 %, a 1 890 m s.n.m. fue del 55 %, y a los 1 406 m s.n.m., fue del 25 %.

En los años 2020 y 2021, la época de recolección y cantidad de frutos varió de acuerdo con el rango altitudinal donde se encontraban los lugares de estudio. En el sitio ubicado a 2 812 m s.n.m., el porcentaje máximo de masividad fue del 35 % durante el mes de mayo; a 1 890 m s.n.m., 40 % entre junio y julio, y a los 1 406 m s.n.m., del 30 % en el mes de junio.

5.5.4. Número de árboles para recolectar las semillas

Se suele recolectar en un mínimo de diez árboles de cada rodal o fuente semillera, y en ocasiones se utilizan entre quince o más árboles, si el rodal o fuente es muy variable. Otro aspecto que se debe tener presente es que los árboles semilleros estén separados entre sí: se utiliza como norma una distancia mínima que sea el doble de la altura del árbol; esto, con el fin de reducir el riesgo de recolectar, en padre, medios hermanos.

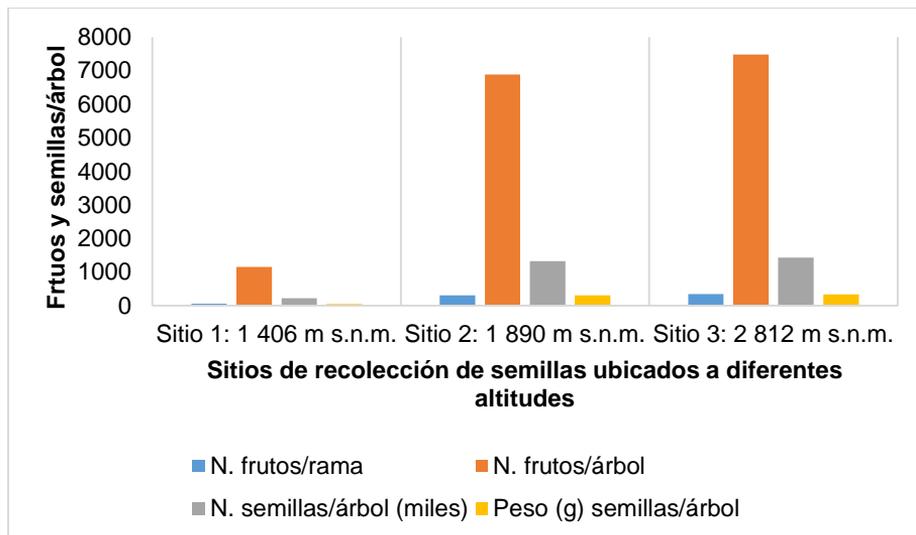
La recolección de semillas de un número determinado de árboles se realiza con el propósito de mantener representada la variabilidad genética en los nuevos individuos; se pretende tener en cuenta no solo las variaciones entre poblaciones y procedencias, sino también las variaciones que se dan dentro de ellas.

5.5.5. Potencial productivo de frutos y semillas/árbol

Disponer de información respecto a la cantidad de frutos y semillas que cada árbol tiene como potencial productivo, es importante para planificar adecuadamente la cantidad de semillas que se han de recolectar. Los estudios realizados en Intag señalan que la cantidad de frutos que se encuentran en árboles de seis años de edad, plantados en terrenos a 1 890 y 2 812 m s.n.m., es superior a la producción de estos en árboles de ocho años, localizados a 1 406 m s.n.m., aspecto que corrobora la influencia de la altitud en la productividad de las semillas (Figura 33).

Figura 33

Producción de frutos y semillas/árbol de A. nepalensis a diferentes altitudes



Nota. Adaptado de Matango (2019).

La fructificación en el sitio 1 presentó un promedio de 1 160 frutos por árbol; en el sitio 2, la producción fue de 6 892 frutos por árbol, y en el sitio 3 de 7 485 frutos por árbol en el periodo de mayor producción.

Se requieren 22 259 frutos para pesar un kg de semillas; para obtener un kg de semillas del sitio con mejor producción de frutos (sitio 1), se requieren tres árboles, y para el sitio 3, diecinueve árboles. En promedio 14,69 kg de frutos contienen un kg de semillas donde se encuentran 4 252 479 de estas.

5.5.6. Métodos de recolección

El método más utilizado es la recolección de semillas de árboles en pie; se accede a ellos desde el suelo; se utiliza una podadora aérea de marca Truper, la cual posee dos poleas que facilitan su manejo, una hoja de doble bisel y una forma curva para el corte de la rama. Otro acceso es trepando, para lo cual se utiliza varios medios, como una escalera desmontable de dos montantes o una bicicleta para árboles, con arnés, casco y cuerdas de seguridad.

Será importante cumplir las normas de seguridad y mantenimiento en actividad de cables y cuerdas, donde la persona que recolectará las semillas debe disponer del equipo de seguridad completo, que incluye casco, guantes, arnés y las puntas de escalar.

No es recomendable recoger frutos y/o semillas que se encuentren caídos en el suelo, ni los frutos secos y sobremaduros de ciclos anteriores que persisten durante meses en el árbol.

5.6. Técnicas posrecolección

Las técnicas (tratamientos) posrecolección consisten en el transporte de frutos, el secado, separación de las semillas de los frutos y el almacenamiento.

5.6.1. Transporte de frutos

Lo que se recolecta del árbol son frutos, no semillas; por lo tanto, se debe transportar los frutos con la mayor rapidez posible a la instalación de procesamiento de semillas, donde las condiciones de

la extracción se pueden controlar mucho más que en el campo. Los frutos han de manipularse con sumo cuidado tanto en el rodal o fuente semillera, como durante el transporte.

El transporte entre el sitio de recolección y el lugar donde se encuentran las instalaciones para el manejo de semillas (banco de semillas, laboratorio, vivero, otros) requiere tomar en consideración determinados cuidados para evitar que la semilla sufra daños e incluso su pérdida de viabilidad, siendo el más importante el tipo de recipiente.

Los frutos cosechados de *A. nepalensis* se colocan en costales o sacos elaborados a base de fibras naturales de *Furcraea andina*. En este almacenamiento temporal no se recomienda llenar los recipientes (costales) al máximo con los conos frescos (dejar a medio llenar); de esta manera se genera espacio para que se expandan las escamas a medida que los conos se van secando. De lo contrario, pueden quedarse en una posición que dificulta la extracción de la semilla.

Para facilitar la circulación del aire dentro de los sacos, así como para hacer más cómoda la manipulación durante el transporte, es aconsejable no poner más de 10–20 kg de frutos en cada saco. También se puede utilizar fundas de cáñamo para el transporte de frutos, a fin de evitar la proliferación de hongos, ya que las bolsas permiten la aireación.

5.6.2. Secado de frutos

Los frutos cosechados se secan durante uno a dos días, luego se colocan en un lugar seco y ventilado donde permanecen entre tres y cuatro días, finalmente se procede a eliminar las semillas agrietadas que se encuentran al interior de cada fruto como una medida de precautelar la calidad de estas.

Especialmente se utiliza el calor del sol para acelerar la extracción y el secado de las semillas, ya que son frutos dehiscentes; este procedimiento es por lo general beneficioso en términos técnicos y económicos.

Los frutos se someten a un secado progresivo que provoque una liberación continua de humedad. Se busca siempre que el aire que entra en contacto con los frutos sea más seco que los frutos mismos, lo cual se obtiene mediante la circulación constante del aire.

Las principales técnicas son remover y dar la vuelta a los frutos con frecuencia para facilitar que los conos se sequen, abran y suelten la semilla de manera uniforme. Esta técnica tiene una eficacia del 100 %, como procedimiento para que los frutos se abran sin dificultad alguna. La otra técnica es retirar con frecuencia las semillas ya separadas de los frutos, de manera que no estén expuestas durante demasiado tiempo a una luz solar directa e intensa.

5.6.3. Extracción de la semilla

La extracción temprana de la semilla es esencial para mantener la viabilidad. Los conos se secan en primer lugar, hasta que las

escamas se abran o las semillas se separen de la placenta del fruto, y después se someten a un tratamiento manual, de volteado en un tambor, o trillado, para separar las semillas secas de los frutos secos.

En *A. nepalensis* es factible aplicar el oreo previo (oreo = soplo del aire que da suavemente en los frutos y semillas), que consiste en operaciones deliberadas de almacenar los frutos y las semillas contenidas en ellos, y secarlos lentamente al aire, a fin de prepararlos para la extracción y almacenamiento de la semilla a largo plazo. Los procesos que facilitan este tratamiento previo son la maduración de las semillas y el secado de los frutos.

En una investigación realizada por Puente (2022), la extracción de la semilla se efectuó separándola de los frutos; para ello, primero se colocaron los frutos en un periódico, en un sitio de baja humedad, donde corría aire y había sombra; posteriormente, se realizó la separación de la semilla, una vez que los estróbilos estuvieron abiertos; la semilla se colocó en fundas herméticas hasta almacenarla.

Matango (2019) señala que los frutos fueron recolectados directamente de la copa, y la extracción de la semilla se realizó con la ayuda de tamices de diferentes diámetros.

5.6.4. Almacenamiento

En algunos sitios de la zona de Intag donde se encuentra la mayor cantidad de plantaciones y sistemas agroforestales que utilizan en sus arreglos *A. nepalensis*, los períodos de tiempo entre cosecha de semillas, producción de plántulas y plantación con *A. nepalensis* difieren; lo que se debe a la cosecha de semillas, que de acuerdo con

los estudios fenológicos que van desde mayo a agosto, depende de la ubicación altitudinal de los sitios de recolección; el tiempo que se requiere en el vivero para que las plántulas alcancen el tamaño y desarrollo radicular adecuados, y estén listas para llevar al campo definitivo, es de seis meses (julio-diciembre); la época de plantación es de tres meses (enero-marzo).

De lo anteriormente señalado, se colige que hay necesidad de almacenar la semilla para cumplir con el calendario forestal por un corto tiempo; además, por tener viabilidad corta las semillas de *A. nepalensis*, es imprescindible su almacenamiento.

Varios autores coinciden en definir el almacenamiento como la conservación de semillas viables, desde el momento de la recolección hasta que se necesitan para la siembra (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1991).

Una vez extraídas las semillas de los frutos, se precisan varias operaciones de preparación para su almacenamiento. Se separan las semillas viables de las vacías y no viables, y de los fragmentos inertes de fruto; cuando las semillas se van a almacenar, es recomendable determinar su contenido de humedad y, en su caso, elevarlo o rebajarlo hasta el porcentaje adecuado para el almacenamiento, y utilizar las técnicas y medios de almacenaje que mejor se adapten.

Las investigaciones y la experiencia en el manejo de semillas de *A. nepalensis* determinan tres parámetros que se han de considerar para un adecuado almacenamiento: temperatura, tipo de envases donde se almacenarán y tiempo de almacenamiento.

Se han manejado dos tipos de temperatura en el almacenamiento de las semillas de *A. nepalensis*. El primero consiste en almacenar a temperatura ambiente, entre 12-20 °C; y el segundo, en colocar las semillas en refrigeración, a 6-8 °C. Los envases utilizados fueron cristal translúcido y ámbar, funda plástica translúcida y oscura. Los tiempos de almacenamiento fueron un mes, dos meses, tres meses, cuatro meses, cinco meses, seis meses y diez meses.

Los estudios se realizaron combinando los tres parámetros (temperatura, envases y tiempo). Las variables estudiadas fueron poder y vigor germinativo.

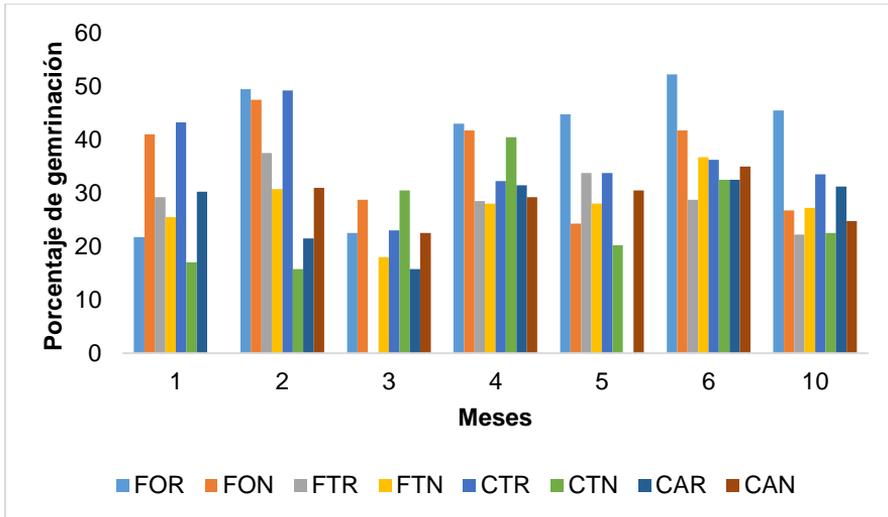
5.6.4.1. Poder germinativo.

Este poder expresa, en porcentajes, el número de semillas que germinaron y desarrollaron plantas normales, cuando estas se colocan en condiciones favorables u óptimas para su desarrollo (ISTA, 2016).

La funda oscura en refrigeración (FOR) resultó ser el mejor envase para almacenar las semillas de *A. nepalensis*, pues tuvo una tendencia a incrementar el poder germinativo a medida que pasaban los meses; inició con 21,75 % el primer mes, y a los seis meses llegó a 52,25 %; así, se convirtió en el mayor porcentaje de todo el estudio; a los diez meses disminuyó a 45,50 % (Figura 34).

Figura 34

Poder germinativo de semillas de A. nepalensis de acuerdo con diferentes condiciones de almacenamiento



Nota. FOR: Funda oscura – refrigeración; FON: Funda oscura – natural; FTR: Funda translúcida – refrigeración; FTN: Funda translúcida – natural; CTR: Cristal translúcido – refrigeración; CTN: Cristal translúcido – natural; CAR: Cristal ámbar – refrigeración; CAN: Cristal ámbar – natural. Fuente: Sevilla (2020).

Colocar las semillas en refrigeración resultó ser el método más apropiado; los porcentajes de germinación fueron mayores que los obtenidos cuando las semillas se mantuvieron a temperatura ambiente (Figura 34). Mientras la germinación se incrementaba cada mes en las semillas que fueron sometidas a refrigeración, en las que se encontraban a temperatura ambiente ocurrió lo contrario, es decir, el poder germinativo disminuía; partió con 47,5 %, y al quinto mes llegó al 24,25 %.

Seis meses es un tiempo adecuado para almacenar las semillas, pues permite cumplir con las otras actividades del ciclo silvícola es

decir, producción de plántulas y plantación en los tiempos previstos en el calendario forestal.

También se determinó el vigor germinativo. El mejor resultado es el que combina la funda oscura en refrigeración y seis meses de almacenamiento, con 24,78 % de vigor, similar al poder germinativo (Sevilla, 2020).

Como corolario, las semillas de *A. nepalensis* se deberán secar hasta un punto de equilibrio en un ambiente controlado (5 y 20 °C) y una humedad relativa entre 10–25 %. En condiciones herméticas, almacenadas a 4-5 °C, con 5-10 % de contenido de humedad, la viabilidad puede conservarse durante al menos un año. Almacenadas a temperatura ambiente, se pueden conservar entre tres y cinco meses, aunque se debe tener presente que el porcentaje de germinación habrá disminuido.

Además, se comprobó que las semillas pierden viabilidad en el almacenamiento, por lo cual se realizan ensayos periódicos, a fin de conseguir que solo se mantengan almacenadas las semillas de gran viabilidad. Se desecha cualquier lote de semilla que, en un determinado momento, muestre una viabilidad reducida.

5.7. Análisis de la calidad de semillas

Varios ensayos se han realizado para determinar la calidad de las semillas. Se efectúan siguiendo las normas de International Seed Testing Association (ISTA, 2016). Entre las propiedades de las

semillas, las que mayor importancia tienen son: pureza, contenido de humedad, peso y germinación.

5.7.1. Pureza

El primer ensayo se efectúa para comprobar la pureza de la semilla. Los ensayos ulteriores se hacen únicamente sobre el componente de semilla pura. El análisis de pureza tiene por finalidad determinar la composición en peso de la muestra que es objeto del ensayo.

Las semillas de *A. nepalensis* contienen impurezas que en su gran mayoría provienen del propio árbol, tales como partículas de hojas, restos de ramas pequeñas y, sobre todo, partes de los frutos que se desprenden a medida que estos maduran.

Las investigaciones realizadas en los últimos tres años generaron resultados diferentes: 82,55 %, 88,32 % y 96,08 % (Matango, 2019; Puente, 2022; Sevilla, 2020). Los distintos porcentajes dependen en gran medida de las diferentes técnicas utilizadas para la recolección de frutos, transporte, métodos de extracción y secado de semillas.

5.7.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) es importante conocer, tanto si el objetivo es sembrar las semillas, o si se van a almacenar. Tres estudios han generado resultados diferentes del contenido de humedad de las semillas de *A. nepalensis*: 8,88 %, 9,30 % y 10,54 % (Matango, 2019; Puente, 2022; Sevilla, 2020).

Siempre será necesario cuantificar la humedad, tanto del aire como de la semilla, puesto que la semilla húmeda, rodeada por aire seco, pierde humedad y, por lo tanto, peso; en tanto que la semilla seca, rodeada por aire húmedo, gana ambas cosas.

5.7.3. *Peso*

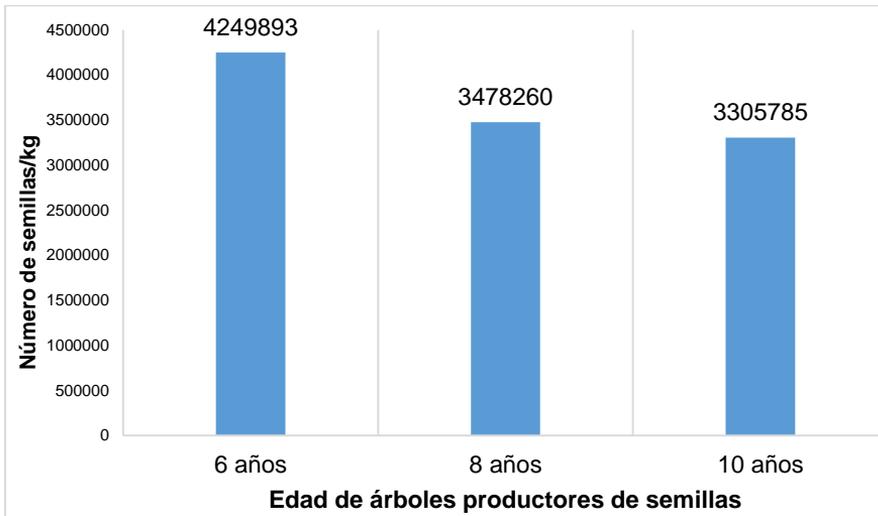
Se expresa en número de semillas/kg; esta información ha ido variando con el tiempo, producto de haber mejorado el nivel de investigación. Cuando se importó la semilla en 1990, la empresa SETROPA en su catálogo de ventas señaló que este peso era de 350 000 semillas/kg.

En los siguientes años, la literatura técnico-científica mencionaba entre 1,6 y 2,3 millones de semillas/kg, sin impurezas (Napier y Robbins, 1989) hasta señalar un rango de 2,3-3,5 millones de semillas limpias/kg (Joker, 2000; Orwa et al., 2009).

Las diferentes investigaciones realizadas en el Ecuador, entre 2018 y 2021, dan cuenta de un rango entre 3 305 785 (Puente, 2022; Sevilla, 2020;) y 4 275 331 (Matango, 2019). La edad influye en la cantidad de semillas; a medida que los árboles tienen mayor edad, la cantidad de semillas/kg disminuye (Figura 35); la diferencia es alta; así, a la edad de seis años, la producción es de 4 249 893 semillas/kg, y a los diez años, 3 305 785; existe una diferencia de 944 108 semillas/kg, equivalente a un 22 %, entre los años seis y diez; entre los seis y ocho años la diferencia es de 18 % a favor de la edad más corta; y, entre los ocho y diez años, es solo del 5 %, lo cual ratifica lo determinante que es la edad en la producción de semillas.

Figura 35

Numero de semillas/kg de A. nepalensis

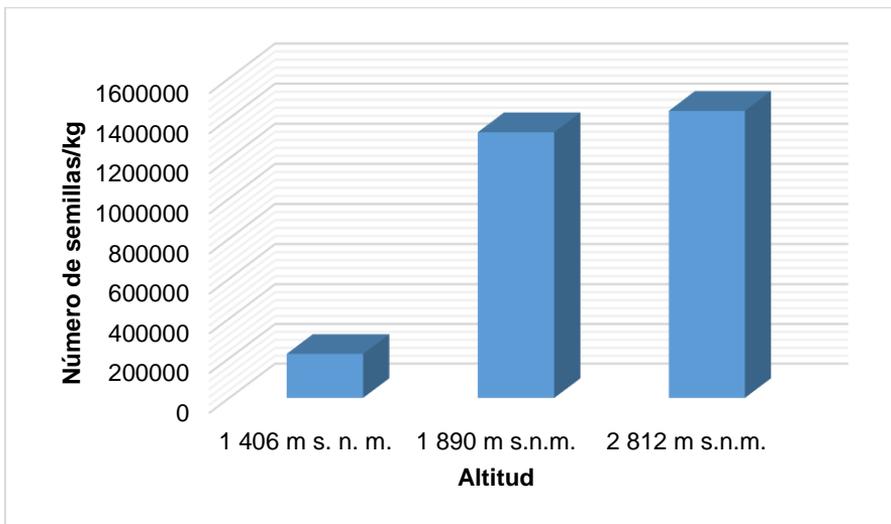


Nota. Adaptado de (Matango, 2019; Puente, 2022; Sevilla, 2020).

La altitud también influye en la cantidad de semillas/kg (Figura 36); a mayor altitud, mayor cantidad de semillas; y a menor altitud, la cantidad de semillas disminuye. Llama la atención que a la altitud de 1 406 m s.n.m., solo se produce el 15 % de la semilla, comparada con el sitio localizado a 2 812 m s.n.m., y el 17 %, comparada con el sitio a 1 890 m s.n.m. Esto ratifica que el rango óptimo de altitud para el desarrollo vegetativo y reproductivo de la especie oscila entre 1 500 m s.n.m. y 3 000 m s.n.m.

Figura 36

Numero de semillas/kg de A. nepalensis en función de la altitud.



Nota. Adaptado de (Matango, 2019; Puente, 2022; Sevilla, 2020).

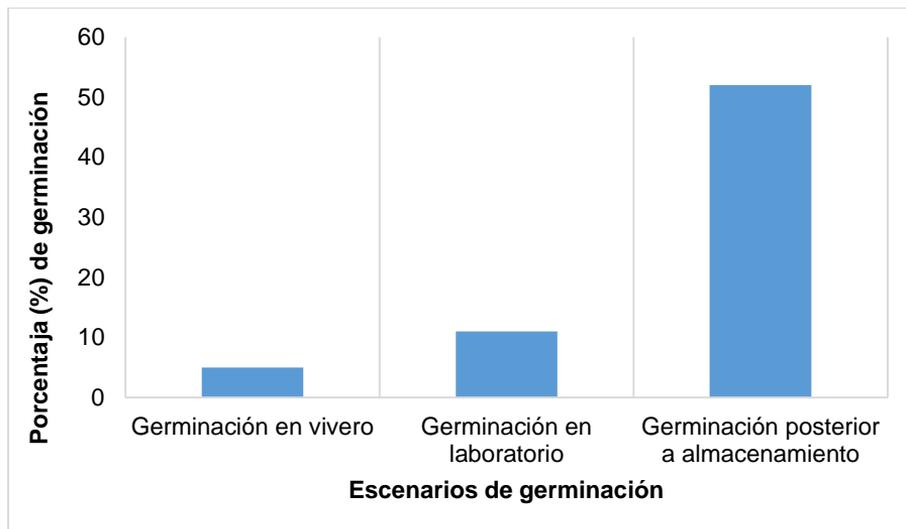
5.7.4. Germinación

En tres escenarios se han desarrollado actividades donde se ha podido conocer el nivel de germinación de las semillas de *A. nepalensis*: vivero, laboratorio y condiciones de almacenamiento (Figura 37).

La experiencia de campo con agricultores y propietarios de viveros que han incursionado en la producción de plántulas, reportan porcentajes bajos en cuanto a la germinación, entre 4 % y 5 %. La causa está en que no cuentan con equipos e infraestructura adecuada para recolección, almacenamiento y germinación de las semillas.

Figura 37

Germinación de semillas de A. nepalensis bajo diferentes escenarios de germinación



En ensayos en laboratorio, los porcentajes de germinación ha sido superiores a los del campo. Como medio de germinación se utilizaron cajas Petri previamente esterilizadas; el equivalente a sustrato utilizado fue papel absorbente saturado en agua destilada; luego, las cajas fueron colocadas a una temperatura de 23 °C, con doce horas de luz y doce de oscuridad; los resultados fueron porcentajes de germinación entre 8 y 11 % (Matango, 2019).

Los mejores porcentajes de germinación se obtuvieron cuando las semillas fueron almacenadas durante seis meses, en fundas oscuras y mantenidas en refrigeración, con 9,33 % de contenido de humedad; se obtuvo entre el 45 % y el 52 % de semillas germinadas (Sevilla, 2020).

En este sentido, Echeverría (2021) concluyó que el mejor tratamiento a los diez meses de almacenamiento de semillas de *A. nepalensis*, fue la funda oscura en refrigeración con un 45,5 % de germinación; le sigue el tratamiento de cristal translúcido en refrigeración con un 33,5 % de germinación.

Comparando los porcentajes de germinación en distintas gradientes altitudinales, se obtuvo, a 2 812 m s.n.m., 8 %; a 1 890 m s.n.m., 10,5 % y, a 1 406 m s.n.m. el 3 %.

5.7.4.1. Tratamientos pregerminativos.

Las semillas normalmente no necesitan pretratamiento, aunque algunos recomiendan remojar la semilla en agua tibia antes de la siembra. En su investigación, Puente (2022) utilizó hojas y tallos de *Salix babylonica*; esta hormona natural fue aplicada al momento de la siembra; como resultado se obtuvo un incremento en el poder germinativo que pasó del 36 % sin aplicación de este tipo de hormonas, a un 41 %.



Capítulo

6

Propagación

PROPAGACIÓN



Nota. Producción de plántulas de *A. nepalensis* mediante propagación sexual.

Alnus nepalensis se reproduce mediante el uso de técnicas de carácter sexual y asexual. En el Ecuador ha sido posible propagar la especie únicamente mediante el uso de semillas, lo que se conoce como reproducción sexual. En cuanto a la reproducción asexual o multiplicación vegetativa, se han realizado algunos ensayos utilizando estacas, pero se han obtenido bajos porcentajes de prendimiento.

El presente capítulo se enfoca en la producción de plántulas mediante técnicas sexuales. Se desarrollan en tres etapas: almácigo, crecimiento y endurecimiento. De manera sucinta se mencionan los aspectos de variabilidad genética y propagación asexual.

6.1. Fases y etapas en el proceso de propagación sexual

La planificación, ejecución, seguimiento y evaluación son fases fundamentales que se han de considerar en la reproducción sexual de *A. nepalensis*. De ellas depende una producción de plántulas, en cantidad, calidad y tiempo.

Deductivamente, la planificación de la propagación de *A. nepalensis* obedece a un orden jerárquico que se da en tres niveles articulados entre sí: macro, meso y micro.

Macroplanificación constituye el proyecto general de plantación en el que se han identificado previamente los objetivos, tipo de plantación, densidad de plantación y otros aspectos que definen el número de plántulas requeridas y su calidad.

Mesoplanificación está representada por el calendario forestal, el cual es una herramienta metodológica de gestión que orienta a directivos, técnicos, extensionistas y promotores campesinos en la ejecución oportuna y efectiva de las actividades forestales y agroforestales.

En este calendario se organizan en el tiempo, las actividades técnicas, sociales, culturales, administrativas y económicas necesarias para ejecutar el proyecto forestal. Incluye calendario fenológico y provisión de insumos para propagación de plántulas, tales como semillas y abonos, entre otros.

Microplanificación se refiere al cronograma específico de la propagación de plántulas. Es un plan eminentemente técnico.

Empieza con el almácigo de las semillas, hasta que la plántula está lista para salir al campo definitivo.

Las fases de ejecución, seguimiento y evaluación se realizan en cuatro etapas: **almácigo**, **crecimiento**, **endurecimiento** y **evaluación** de la calidad de plántulas. En cada una de estas etapas, las plantas tienen requerimientos diferentes de luz, agua, nutrientes, espacio en el vivero, tipo de atención y trabajos necesarios para mantenerlas vivas, vigorosas y sanas.

Las etapas están conectadas entre sí, y la calidad de la plántula es el principal conector. La plántula que se trasplanta del almácigo debe reunir los parámetros de calidad para ser luego repicada. La planta criada en el medio de cultivo elegido tiene que haber desarrollado las características idóneas para ser seleccionada en la tercera y cuarta etapa, y son las de preparación para el campo definitivo.

6.1.1. Etapa de almácigo

El primer elemento que se considera en el almácigo o semillero es la infraestructura, tanto de viveros temporales o permanentes, como en laboratorio. Por lo susceptible que resulta ser la semilla de *A. nepalensis*, esta infraestructura debe contar con coberturas que garanticen temperatura y humedad adecuadas, suficiente luminosidad, buena aireación, sustrato acorde con el tipo de semillas, control fitosanitario permanente, riego controlado y protección –en lo posible– con malla antiáfidos para evitar el ingreso de plagas y enfermedades a su interior, de manera que se permita la germinación de las semillas sin problemas fitosanitarios.

6.1.1.1. Medios para la germinación.

Los almácigos, también llamados semilleros o germinadores, son las áreas de vivero en las cuales se siembran las semillas, con la finalidad de lograr plántulas que posteriormente serán repicadas y luego pasarán a las camas de crecimiento hasta alcanzar su tamaño óptimo para salir al campo. El tipo, la forma y el tamaño de los almácigos varían según las condiciones del vivero y el método de propagación utilizado (sexual o asexual). Los más comunes para el caso de *A. nepalensis* son camas germinadoras, fijas o móviles y platabandas.

Las camas germinadoras, según el tipo de vivero donde se produzca *A. nepalensis*, pueden ser fijas o portátiles. Las primeras forman parte de viveros permanentes, son de larga vida y construidas con materiales permanentes, tales como: concreto, ladrillo o madera de alta densidad; las segundas se construyen en viveros temporales o volantes, son de corta vida y, por su propia naturaleza, los materiales son acordes con ella; el principal es la madera de baja densidad, en forma de tablas u otras piezas de menor tamaño, como jampas (corteza de los árboles extraída en forma de tabla).

6.1.1.1.1. Semilleros fijos.

Consisten en una pileta que se construye sobre el propio terreno. Generalmente, se da una forma rectangular de 1,20 m de ancho (medida interior) y una altura que varía entre 20 y 80 cm. Su parte interior debe ser impermeable, con una pequeña pendiente y un tubo con tapón que le sirva de drenaje en el momento requerido.

6.1.1.2. Semilleros portátiles.

La principal característica de los semilleros portátiles radica en que son fáciles de mover y transportar de un lugar a otro, por ser manejables y de pequeño tamaño. Los más utilizados son cajas germinadoras, fundas de plástico o polietileno y tubetes.

6.1.1.3. Cajas germinadoras.

Las cajas germinadoras son cajones con dimensiones de fácil manejo (largo=55 cm; ancho=35 cm, y alto=12 cm) y con orificios para drenar el exceso de agua. También se utilizan otros recipientes de metal o plástico con perforaciones en su base y sirven como semilleros portátiles (Pimentel, 1971).

6.1.1.4. Fundas y tubetes de plástico o polietileno.

Son medios utilizados para la siembra de semillas de manera directa; las fundas utilizadas tienen tamaños que varían entre 4 x 6" y 5 x 8", y depende del tiempo que permanecerán las plántulas en el vivero, hasta lograr los parámetros de calidad exigidos para el efecto.

Los tubetes se encuentran en diferentes tamaños; se utilizan los que vienen adheridos en bloques (entre 56 y 96 tubetes/canastilla o rejilla) o individuales.

6.1.1.5. Semilleros en platabandas.

La siembra directa en platabandas es una técnica en las que las plantas se desarrollan directamente sobre el suelo del vivero.

Las platabandas pueden formar parte de viveros permanentes o volantes; son de tamaños variables, de acuerdo con la longitud del terreno; el ancho de un metro facilita el manipuleo de las plántulas; la profundidad va desde 15 cm hasta 60 cm. Según las condiciones de humedad prevalecientes en los sitios de germinación, estas platabandas se construyen bajo, sobre y a ras del suelo.

Para facilitar el drenaje siempre se coloca una primera capa de grava en el fondo de la platabanda; de igual manera, para permitir el escurrimiento superficial del exceso de agua que pueda haber, se construye con una pendiente no mayor del 15 %. Siempre que sea posible, la orientación de las platabandas debe ser en dirección este a oeste.

Una vez seleccionado el tipo de semillero, el sustrato se desinfecta para prevenir la aparición de plagas o enfermedades, y se llena el contenedor de manera homogénea, no en exceso, para dar cabida a las semillas y a su recubrimiento.

6.1.1.2. Factores influyentes en la germinación de semillas de *A. nepalensis*.

La germinación de las semillas es considerada un proceso crítico en el periodo de producción de plántulas de *A. nepalensis*. Está regulado, tanto por factores internos –que son propios de la semilla

(viabilidad y longevidad)–, como por factores externos de tipo ambiental (humedad, luz, temperatura y oxígeno), los cuales deben conjuntarse para proporcionar las condiciones adecuadas que permitan que el proceso de germinación se lleve a cabo.

6.1.1.2.1. Factores internos.

Bajo condiciones naturales, la capacidad de la semilla para germinar es limitada en el tiempo; cada treinta días, en promedio, se pierde entre el 30 % y el 40 % de dicha capacidad; a los tres meses, llega a perder toda su capacidad de germinar. Cuando las condiciones naturales mejoran, en especial con temperaturas no mayores de 18 °C, y humedad relativa no mayor del 25 %, la posibilidad de germinar puede extenderse hasta seis meses; la reducción del contenido de humedad por debajo del 12 % disminuye su periodo de viabilidad. Bajo ambientes controlados de almacenamiento (ver capítulo semillas, ítem 5.6.4.1.), las semillas pueden permanecer viables aun sin germinar, hasta un año.

6.1.1.2.2. Factores externos.

Las semillas de *A. nepalensis*, al igual que otras de varias especies forestales, requieren condiciones estables, en las que agua, temperatura, luz y gases activen el metabolismo de la germinación. Su efecto se expresa, tanto en la capacidad germinativa, como en la velocidad de germinación.

Agua

El agua es el factor que ejerce la mayor influencia sobre el proceso de germinación; no obstante, un criterio técnico que se maneja es que en el almácigo no es necesario mojar hasta que el agua escurra de la cama germinadora; solamente se mantiene húmedo el sustrato para brindar a la semilla, las condiciones de humedad necesaria para su germinación.

Temperatura

En viveros temporales y permanentes, los mejores resultados en cuanto a germinación se han obtenido con una temperatura promedio de 15 °C, con pocas fluctuaciones entre día y noche. La especie no tolera cambios bruscos de temperatura (Echeverría, 2021).

Luz

El efecto de la luz es un factor determinante para la germinación. Al ser una semilla de tamaño pequeño, la de *A. nepalensis* requiere luz para germinar; por ello, tampoco se la entierra demasiado (máximo el doble de su diámetro). Se ha observado que las semillas sólo germinan a una profundidad que permita a la plántula emerger en una apropiada calidad de luz, antes de que se agoten sus reservas. No es recomendable exponerla al sol, por cuanto ello favorece la evaporación del agua.

Gases

Las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), puesto que estos gases son necesarios para la germinación, específicamente para que el embrión pueda mantener su metabolismo. Al igual que las semillas de varias especies forestales, las de *A. nepalensis* germinan bien en atmósfera normal, con 21 % de O₂ y un 0,03 % de CO₂ (Doria, 2010).

6.1.1.3. Sustratos.

Los sustratos para las camas germinadoras, semilleros en platabandas y en laboratorio, son diferentes. El tipo de sustrato está en función del tiempo que va a permanecer la planta en el semillero.

De manera específica, las diferencias están dadas por cuanto en semilleros fijos y cajas germinadoras de semilleros portátiles, las plántulas, una vez que hayan desarrollado cuatro hojas, serán repicadas a otros medios de crianza; mientras tanto, una plántula permanecerá en fundas o tubetes, hasta que se la lleve al campo definitivo, lo cual requiere un sustrato adecuado desde el inicio de su germinación, a fin de que reciba nutrientes y condiciones físicas para un óptimo crecimiento.

En semilleros fijos y cajas germinadoras de semilleros portátiles, se utiliza una mezcla 7:2:1, compuesta por 70 % de arena, 20 % de tierra de sitio y 10 % de turba holandesa. El criterio de utilizar una buena proporción de arena es para facilitar la infiltración

del agua; además, las plántulas permanecerán poco tiempo en el semillero, y su alimentación la recibirán de las reservas de la semilla y no por medio de sus raíces, que aún en este momento no inician su crecimiento; la arena es inerte y no proporciona nutrientes a las plántulas.

Los semilleros en platabandas, cuando se utilicen solo para el proceso de germinación, y luego las plántulas sean repicadas a otros medios de cultivo, se usa el mismo sustrato que se menciona para semilleros fijos; no obstante, si se planifica producir a raíz desnuda o con pan de tierra, algunas de estas plántulas germinadas quedarán para este propósito; entonces, se utilizará el sustrato señalado para fundas de plástico o polietileno.

En varios ensayos en laboratorio, las semillas fueron extendidas de manera uniforme en cajas Petri previamente esterilizadas; como sustrato se utilizó papel absorbente saturado en agua destilada; luego, las cajas fueron colocadas a una temperatura de 23 °C, con doce horas de luz y doce de oscuridad.

6.1.1.3.1. Desinfección de sustrato y semillas.

Se han utilizado en los 32 años que lleva de introducido *A. nepalensis* en el Ecuador, varios métodos de desinfección de sustratos; no obstante, se agrupan en dos: natural y químico.

Se ha recurrido a métodos naturales utilizando agua hervida, cal y ceniza, cuando no hay riesgos mayores de presencia de enfermedades y plagas. Otro método es la solarización, que consiste en hacer una cama con el sustrato, no más gruesa de 30 cm; después,

se cubre con una lona de polietileno negro, de calibre 400 y se la deja durante varios días a los rayos directos del sol, para que la temperatura se eleve hasta 40 o 50 °C, lo cual mata a muchas plagas y enfermedades.

Entre los métodos químicos recomendados, el más utilizado en el presente es a base de cobre. Se aplica una solución de 20 gramos de oxiclورو de cobre 50 mp en 20 litros de agua mediante la utilización de una bomba de mochila; se remueve constantemente el sustrato para tener una desinfección total de la mezcla. Terminado el proceso de desinfección, se cubre con plástico negro por 48 horas.

Una vieja forma de desinfectar el sustrato es usar el formol comercial (40 %) diluido de 5 a 10 %, es decir, se agregan de 50 a 1,00 ml de formol, a una regadera con 10 litros de agua limpia. Se aplican de una a tres regaderas por 1 m³, y se tapa herméticamente con el plástico. Luego de 48 horas, se destapa para permitir la ventilación; al segundo día se remueve, y al final de tres días, se puede utilizar.

En ocasiones se utiliza bromuro de metilo en una dosis de una libra por cada 4 m³ de sustrato.

Una vez realizada la desinfección, se debe esperar unas cuatro horas, y se nivela nuevamente la superficie del almácigo, a fin de que esté lista para la siembra de las semillas.

Para la desinfección de la semilla se utilizan 10 gramos de Vitavax disueltos en 10 litros de agua, y se sumerge la semilla en esta solución, de uno a dos minutos. En ocasiones, se ha recurrido a la ceniza como elemento desinfectante de las semillas.

En el laboratorio, las semillas se desinfectan con cloro al 5 %, por dos minutos, y se enjuagan luego con agua destilada y desmineralizada.

6.1.1.4. Siembra o almacigado.

En semilleros fijos, cajas germinadoras portátiles y en platabandas, se siembran las semillas de *A. nepalensis* al voleo y también en surcos; en contenedores se siembran individualmente.

6.1.1.4.1. Siembra al voleo.

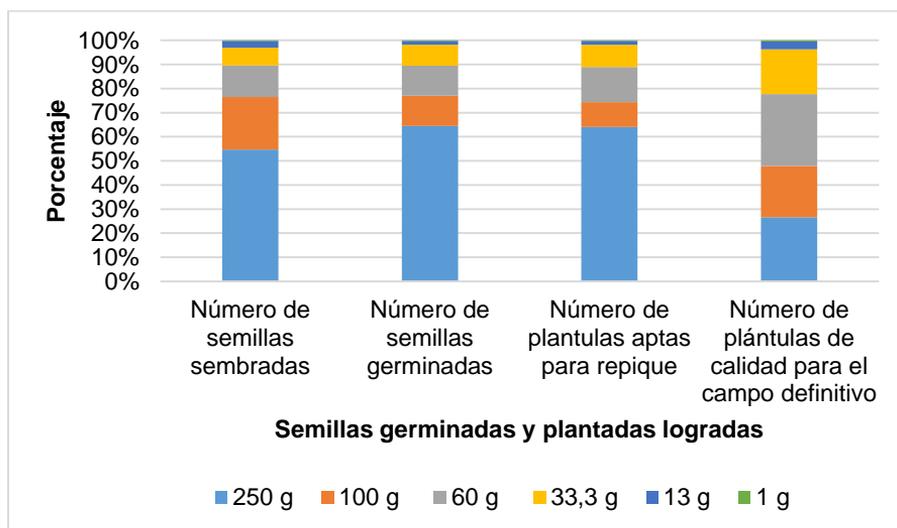
En la siembra al voleo, las semillas se distribuyen uniformemente sobre la superficie del semillero. Para lograr uniformidad en la repartición de las semillas, se utiliza un tamiz o cedazo, un salero o se mezcla con arena. La profundidad de la siembra es un factor importante, ya que la siembra muy profunda retarda la salida de la plántula, y una siembra superficial implica la salida de la raíz y su secamiento.

La cantidad de semilla almacigada y su posterior proceso de germinación varía de acuerdo con la calidad de la semilla, el almacenamiento, las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y los cuidados que se tengan en el manejo del almacigo. Siempre hay que tener en cuenta la relación entre cantidad de semilla sembrada, número o porcentaje de germinación, el número de plántulas aptas para el repique y número de plántulas obtenidas para el campo definitivo.

Se han detectado diferencias en cuanto a la cantidad de semillas germinadas y las que se convierten en plántulas aptas para repicar; y de estas, qué número llegan a ser plántulas listas para plantar; y de estas últimas, qué cantidad finalmente se constituyen en árboles que cumplen con los objetivos propuestos (Figura 38).

Figura 38

Porcentaje de semillas germinadas y plantas logradas



Los más de 30 años de producir plántulas *A. nepalensis* a partir de semillas, determinan un promedio de semillas germinadas, entre el 2,33 % y 5 %; de estas, entre el 75 % y 87,5 % se convierten en plántulas óptimas para el repique; y, llegan a estar en condiciones adecuadas de ser llevadas al campo definitivo, entre el 80 % y 83,87 % (Figura 38).

Lo anterior determina la densidad de almácigo de las semillas; así, si se requiere obtener 750 plántulas aptas para el repique/m², lo

adecuado es sembrar 13 g de semillas; si se trata de obtener 5 000 plántulas para el repique/m², se deberían sembrar 100 g de semillas.

En ocasiones, se plantea la necesidad de conocer el número de semillas posibles de germinar, por ejemplo, si se requieren 1 000 semillas germinadas/m². Para conocer la cantidad de semillas a almacenar se recurre aplicar la fórmula con los datos que se tienen de los estudios de la especie:

$$Q=A \times D(P \times PG \times L)$$

Donde

Q = Cantidad de semillas que debe sembrarse (kg):

A = Área que va a almacenar (m²): 1 m²

D = Densidad deseada (plantas/m²): 1 000 plántulas/m²

C = Cantidad de semillas/kg: 3 305 785

P = Porcentaje de pureza: 90 %

PG = Porcentaje de capacidad germinativa: 52 %

L = Porcentaje final de plántulas logradas (con relación a valores experimentales): 5 %

Q = 12,93 ~13 g

La cantidad de semillas que se han de sembrar es de 13 g para obtener 1 000 semillas germinadas/m² de almácigo, lo cual significa un porcentaje inicial de plántulas logradas de 2,34 %, en relación con el número de semillas sembradas.

Por ser semillas pequeñas, se cubren con materiales de textura rugosa tipo arena fina o perlita, a fin de evitar su movimiento y exposición; siempre se debe tener cuidado de no cubrir más del doble del diámetro de las semillas.

Posteriormente al cubrimiento de las semillas con arena u otro material, se coloca otra capa de paja de páramos, acículas de pino u otro material orgánico; esta capa proporciona calor por las noches, sirve de amortiguamiento para el riego y protege de la presencia de aves.

6.1.1.4.2. Siembra en surcos.

Se construyen surcos en el semillero (cajas germinadoras o platabandas). Los surcos deben estar separados entre sí, a una distancia equivalente al doble del diámetro de la semilla; se debe dejar suficiente espacio entre ellos para el paso de luz y aire. Para construir los surcos, en algunos casos se utiliza una herramienta especial construida para el caso; sin embargo, lo más usual es utilizar los dedos.

Las semillas se depositan a chorro continuo en cada surco; hay que tener la precaución de que haya una distribución uniforme y evitar sobrecargar de semillas algunos espacios: se dejarán otros con pocas o ninguna semilla (espacios vacíos). Las técnicas posteriores a la siembra son las mismas mencionadas para el almacigado al voleo.

6.1.1.4.3. Siembra en contenedores.

La siembra o almacigado en contenedores o medios de cultivo tales como fundas de plástico o polietileno o tubetes (Figura 39), se realiza de forma individual. En cada contenedor se depositan entre 0,5 y 1,0 g de semillas (1 gramo contiene de 3 000 a 4 000 semillas); se obtiene un porcentaje de germinación, de entre 0,5 y 2,0 %. En ocasiones y por la baja calidad de la semilla, se

siembran 56 g/contenedor y se obtienen solo 20 plántulas por medio de cultivo, lo cual equivale al 0,012 % de capacidad germinativa. Las fundas o tubetes se ubican bajo techo para evitar el sol y controlar la humedad.

Figura 39

Almácigo en tubetes



Una alta densidad de siembra aumenta el riesgo de ataque de hongos, y una baja densidad hace que se subutilicen los contenedores. Por esta razón, es importante contar con semilla de calidad garantizada que permita utilizar una densidad que no supere las 100 semillas/contenedor y aspirar a obtener entre tres y cuatro plántulas/contenedor, de las cuales dos o tres, según sea el caso, serán repicadas en otros envases.

6.1.1.5. Riego.

La cantidad y frecuencia del riego en el almácigo depende del sustrato y temperatura. Cuando se utilizan sustratos que retienen humedad, como la fibra de coco o turba, los riegos son menos frecuentes; al contrario, cuando se utiliza arena en grandes proporciones, son casi diarios.

Las camas de almacenado o fundas se colocan sobre una bandeja, y así el agua que fluye por los orificios se deposita en la bandeja, y luego, por capilaridad, se humedece el sustrato.

El riego debe hacerse con cuidado, evitando que se destapen las semillas. Esto se puede evitar usando una regadera que forme gotas pequeñas, parecidas al rocío. También se puede realizar con rociadores.

En términos generales, la frecuencia es hacer dos riegos ligeros por día, al inicio de la siembra; después, un riego por día hasta llegar al trasplante, para obtener una buena y uniforme germinación. Los riegos se realizan en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde; siempre hay que evitar el encharcamiento.

6.1.1.6. Tiempo de germinación.

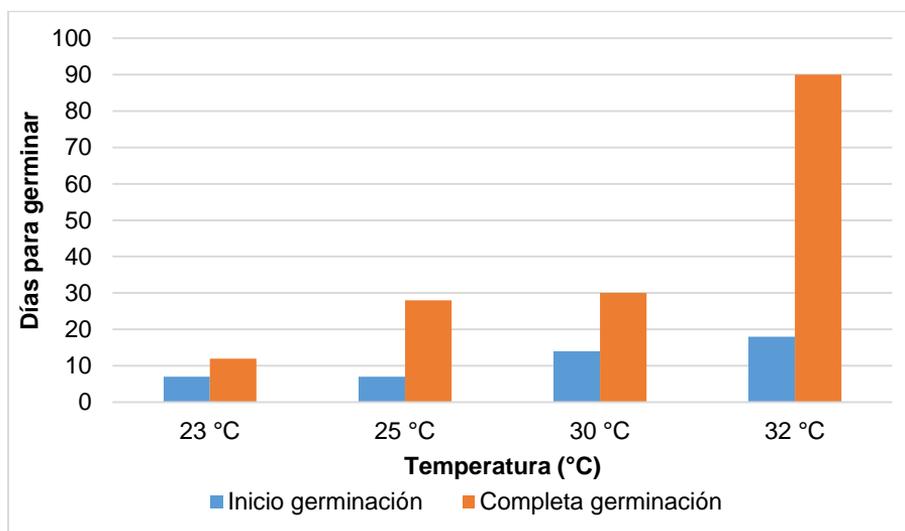
El tiempo de germinación varía en función de la temperatura y el ambiente (laboratorio o campo abierto). Existe una relación directamente proporcional: a menor temperatura, menor tiempo demoran las semillas en germinar; y viceversa, a mayor temperatura, mayor el inicio de la germinación. El rango óptimo de temperatura

para obtener semillas germinadas en el menor tiempo y de manera completa, es entre 23 °C y 25 °C (Figura 40). Temperaturas mayores de 35 °C y menores de 15 °C no son adecuadas para germinar.

En el laboratorio, a una temperatura de 23 °C, la germinación empieza entre el sexto y octavo día después de la siembra, y se completa a los doce días; en otro estudio, la germinación empezó al séptimo día y se completó a los 28 días, con una temperatura de 25 °C (Matango, 2019).

Figura 40

Periodo de germinación en función de la temperatura



Nota. Adaptado de (Echeverría, 2021; Matango, 2019).

En el vivero, en ambiente abierto, con una temperatura entre 16 °C y 32 °C (promedio 15 °C), la germinación empieza entre los 14 y 21 días después de la siembra, y se completa a los 90 días (I. Bolaños, comunicación personal, 6 de octubre, 2016). En viveros

con un mejor control de temperatura, si esta es constante a 30 °C, la germinación empieza a los 14 días y se completa a los 60 días.

6.1.1.7. Raleo.

Consiste en extraer algunas plántulas cuando la germinación es abundante y la gran densidad de plántulas/m² expone a la aparición de enfermedades fungosas como el damping-off; el raleo permitirá un control adecuado de la humedad, por cuanto habrá mayor aireación por el espacio generado, lo cual disminuye el riesgo de la presencia de hongos. Las plántulas extraídas que reúnen determinadas características pueden ser repicadas en otros medios de cultivo (ver repique).

6.1.1.8. Evaluación de la germinación.

Se han utilizado varios métodos para evaluar la germinación; desde los más sencillos, que consisten en realizar directamente sobre las siembras en los almácigos, donde, conociendo el número de semillas iniciales, se evalúa la germinación, basándose en las plántulas generadas en el almácigo, hasta técnicas más complicadas, como la germinación bajo condiciones *in vitro*.

6.1.1.8.1. Inventario.

El inventario es la metodología que se utiliza para evaluar la germinación de almácigo en vivero. El momento en que se ejecuta el raleo es propicio para realizar un inventario que se hace a efectos de conocer la sobrevivencia y proyectar con mayor exactitud el número de plántulas que se han de repicar. De manera específica, el

inventario implica establecer cuántos contenedores están ocupados por una plántula. En base de este dato preliminar, se decide si es necesario hacer más trasplantes o una siembra adicional, para cumplir con el número de plántulas planificadas que se han de producir.

6.1.2. Etapa de crecimiento

Esta etapa comprende dos procesos bien marcados que se deben considerar: enraizamiento y crecimiento; este último incluye, tanto el tallo como el área foliar. La organización de las actividades que se han de desarrollar en los dos procesos se estructura en un espacio de tiempo que comprende: antes del repique, durante el repique y después del repique.

6.1.2.1. Actividades previas al repique.

Las principales actividades previas al repique son la definición del tipo de planta y la preparación del sustrato que se utilizará; además de tener en funcionamiento la infraestructura básica, como el riego y la protección, y otros requerimientos, tales como: insumos, equipos, herramientas y mano de obra especializada, los cuales son de amplio conocimiento por quienes intervienen en este proceso.

6.1.2.1.1. Tipo de planta que se ha de producir.

Los tipos de plantas de *A. nepalensis* que se producen en los viveros presentan dos grandes características: producción en eras o platabandas; a raíz desnuda, o con pan de tierra, y producción en envases.

Plantas con pan de tierra

Aunque la producción no es en grandes cantidades, en las ocasiones en que se produjo se observaron determinadas ventajas: en primer lugar, se obvia el uso de fundas u otro medio de cultivo de alto costo; el crecimiento es mucho más rápido; las plantas tienen un mejor sistema radicular y se obtienen plantas con mayor vigor.

Plantas a raíz desnuda

La diferencia de producir este tipo de planta con la de pan de tierra es que en la planta a raíz desnuda, se sacude el exceso de tierra que está adherida a las raíces antes de enviar al campo definitivo, mientras en las plantas con pan de tierra, se cuida de que la mayor cantidad posible de tierra vaya adherida al sistema radicular. La ventaja de producir a raíz desnuda es la facilidad para el transporte y, los costos de producción son bajos en comparación con la producción en envases.

Pseudoestaca

Se usa poco en sistemas de plantación con *A. nepalensis*, pero con gran potencial. El proceso de producción empieza en el semillero; luego, se repican las plántulas en las camas de crecimiento (platabandas); se seleccionan las plantas sanas sin bifurcaciones, que tengan como mínimo 2 cm de diámetro basal; la altura fluctúa entre 1 y 2 m; en este momento, las plantas se extraen y se llevan a un sitio sombreado para procesarlas; se corta la raíz principal y se dejan solo de 5 - 20 cm, y se eliminan las raíces secundarias; el tallo original se corta 10 cm por encima del cuello de la raíz. De esta manera queda lista la pseudoestaca que se llevará al campo para su plantación definitiva.

Plantas en fundas de polietileno

Las fundas de polietileno son los envases más utilizado para producir *A. nepalensis*; cuentan con la ventaja de que las plantas sobreviven bien en el vivero y son fáciles de transportar; no obstante, tiene varias desventajas, como el excesivo peso, espacio que ocupan, junto con la dificultad de no tener un buen drenaje y sus paredes son muy rígidas; quizá el mayor inconveniente es el enroscamiento de las raíces en el fondo de la funda o bolsa.

Los tamaños más utilizados son 4 x 6" (500 cc), 5 x 7" (912 cc) y 5 x 8" (1043 cc). Se han obtenido plantas de mayor tamaño y mejor volumen de raíces, utilizando fundas de 5 x 8" (Figura 41).

Figura 41

Plántula producida en funda de polietileno de 4 x 6" de tamaño



Plántulas producidas en tubetes

Los tubetes, también llamados conos macetero o conos bala, han sido empleados en la producción de *A. nepalensis* en diferentes tipos, capacidades y colores. Se han utilizado conos de color blanco y negro; sin embargo, el color negro es preferido, por cuanto se conoce que absorbe mayor radicación que el blanco; guarda así la energía.

Se han empleado tipos de tubetes con capacidad que van desde 50 cm³ hasta 270 cm³ y la gran mayoría alojados en bandejas que también se ofrecen en diferentes tipos. El número de cavidades de cada bandeja está en función de la capacidad de cada tubete; por ejemplo, se han utilizado bandejas con 96 cavidades, donde cada tubete tiene 100 cm³; hay bandejas con 36 cavidades, donde van alojados 36 tubetes de 270 cm³. Las mejores plántulas se han obtenido en tubetes cuya capacidad supera los 180 cm³.

En cuanto al material, la mayoría son de polipropileno. También se han utilizado bandejas y tubetes de PP + aditivo UV; el uso de UV es para prevenir que la radiación UV llegue a la masa del polímero o que penetre y llegue a los sustratos sensibles a esta radiación.

6.1.2.1.2. Preparación del sustrato.

El sustrato varía en sus características y composición de acuerdo con el tipo de planta y envase que se utilice. Las principales características que debe reunir un sustrato son físicas y químicas; entre las físicas están: alta capacidad de retención de agua, aporte de

aire, distribución del tamaño de las partículas, baja densidad aparente, balanceada porosidad y estructura estable. Las características químicas son: baja capacidad de intercambio catiónico, capacidad adecuada de nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón/buffer, baja velocidad de descomposición.

Los componentes de los sustratos que se utilizan son materiales orgánicos e inorgánicos. Se utilizan orgánicos, tanto de origen natural, como sintéticos. En los de origen natural se encuentran todos los que están sujetos a descomposición biológica; por ejemplo, turba, residuos de cosechas de cultivos agrícolas, aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, compost; los de síntesis son polímeros orgánicos no biodegradables que se obtienen mediante síntesis química.

Los componentes inorgánicos de los sustratos también son de origen natural, y otros, que han sufrido un proceso de transformación. Los primeros se obtienen a partir de rocas minerales de diferente origen y no son biodegradables; entre los más utilizados están arena, grava y tierra volcánica. Los transformados corresponden a materiales tratados por medios físicos complejos aplicados a rocas o minerales; entre los de mayor uso están vermiculita y perlita.

Cuando se utilizan fundas de plástico o polietileno, se prepara la mezcla que tiene una relación 4:3:2:1; es decir, 40 % tierra agrícola, 30 % tierra negra, 20 % arena de río y 10 % materia orgánica descompuesta. Este tipo de mezcla se utiliza cuando los suelos son arcillosos, muy comunes en varios sitios donde se planta *A. nepalensis*.

Para la germinación en tubetes, ha dado buenos resultados una mezcla compuesta por 25 % de arena, 50 % de tierra fértil y 25 % de cascarilla de café; también se adicionan 50 litros de biol/m² de sustrato. Otro sustrato utilizado en la producción en tubetes es el que está compuesto por materia orgánica, tierra negra, pomina y cascarilla de arroz, en un 10 %, 40 %, 20 % y 30 %, respectivamente (Echeverría, 2021), que proporciona una mejor aireación, nutrientes y condición hídrica. La tierra debe tamizarse antes de usarla para eliminar raíces, terrones y otros elementos extraños.

6.1.2.2. Actividades durante el repique.

El repique se realiza en dos circunstancias: la primera es obligada cuando se ralean plántulas del almácigo, y la segunda obedece a criterios técnicos planificados para el efecto.

6.1.2.2.1. Plántulas del raleo.

Las plántulas raleadas pueden ser repicadas en envases u otros medios de cultivo. Para ello se recomienda hacer el raleo lo antes posible, ya que las plántulas que aún tienen adherido el tegumento de las semillas soportan mejor el trasplante. En este estado, las raíces son aún cortas y pueden insertarse fácilmente en un nuevo contenedor. Si el tegumento de las semillas ya se ha caído, es recomendable solamente extraer de los contenedores las plántulas que están demás, y dejar que la plántula mejor formada esté más cerca del centro de la celda.

6.1.2.2.2. Repique.

El repique es el traslado de las plántulas del almácigo al medio de cultivo, donde permanecerán hasta que estén listas para llevar al campo definitivo. En promedio, las plántulas están listas para el repique cuando presentan entre tres y cuatro hojas, tienen un tamaño entre tres y cuatro cm, grosor del tallo entre 0,09 mm y 1,0 mm, lo cual se consigue a los tres meses de haber sido sembradas las semillas (Figura 42).

El repique debe ser oportuno, puesto que una prolongada permanencia de las plántulas en el semillero retrasa su crecimiento. Ocurrió en un vivero con plántulas repicadas a los tres meses con cuatro cm de altura; a los siete meses, alcanzaron una altura de 20 cm; en cambio, plántulas repicadas a los cuatro meses (un mes después de las primeras) procedentes del mismo semillero, tenían un promedio de 10 cm de altura.

Figura 42

Plántulas listas para repicar



El repique empieza seleccionando las mejores plántulas en el semillero; se eliminan las plántulas enfermas, malformadas y pequeñas, y se dejan solo las mejores. Antes de extraer las plántulas del semillero, este debe humedecerse.

Posteriormente, se realiza la remoción de la tierra alrededor de la plántula; se toma con cuidado, se saca del semillero y se pone en un recipiente con agua hasta que se desprenda la tierra; además del agua, se suele agregar un fungicida; asimismo, se puede colocar una pequeña porción de hormona de enraizamiento. Las plántulas se toman, preferiblemente, por las hojas.

Cuando las plántulas tienen raíces largas, se podan; se cortan las raíces que sean mayores de 5 cm de largo. La poda no debe ser mayor del 30 % del tamaño de la raíz.

Luego, se repican en envases; primero, se abre un hoyo en el centro del sustrato contenido en el envase, lo suficientemente profundo como para introducir una plántula sin que se doble la raíz; luego, se introduce la plántula en el hoyo, con cuidado de no hacerlo más allá del cuello de la raíz, y, por último, se rellena el hoyo con sustrato y se apisona con los dedos. El repique se realiza en lo posible en las horas de menor insolación, esto es, por las tardes o en días nublados.

6.1.2.3. Actividades posrepique

6.1.2.3.1. Protección.

Las plantas en fundas o tubetes se colocan por unos días en camas de crecimiento, previamente instaladas en el vivero, para evitar el sol directo y permitir la vigorización de las plántulas. La sombra se mantiene al menos por quince días hasta que enraícen las plántulas y presentan nuevas hojas.

6.1.2.3.2. Riego.

Inmediatamente después de realizado el repique, se procede a regar durante los primeros cinco días; este riego se realiza con aspersión fina y dos veces por día; uno temprano por la mañana, y otro al atardecer. Luego, se disminuye la frecuencia a un riego diario para mantener humedecido el sustrato, sin encharcamiento. Un mes antes de la salida de las plántulas al campo definitivo, el riego se restringe a uno por semana, con el propósito de prepararlas para el nuevo escenario.

6.1.2.3.3. Reposición del repique.

A los quince días del repique, se evalúan las plántulas, y se reemplazan las muertas; se tendrá cuidado de utilizar las mejores y se dará la atención necesaria para asegurar su prendimiento.

6.1.2.3.4. Deshierbe.

Consiste en arrancar de raíz las malezas de cada envase y con desmalezadora u otra herramienta manual, en los caminos y áreas de trabajo. Los deshierbes se realizan trimestralmente, cuando las malezas no han desarrollado su sistema radicular por completo, por cuanto sus raíces suelen adherirse a las plántulas, y al momento de extraer generan movimiento en el sustrato alrededor de ellas, lo que permite el ingreso de aire, que en ocasiones provoca la muerte de las plántulas.

6.1.2.3.5. Control fitosanitario.

Los controles fitosanitarios se realizan de dos maneras: el primero es de carácter profiláctico; se aplica cada ocho días un fungicida para prevenir ataque de hongos; esta tarea se efectúa durante los dos siguientes meses después del repique, tiempo en el cual aún existe la probabilidad del ataque del damping-off. El otro es de carácter curativo, se efectúa cuando los hongos ya se han hecho presentes; sin embargo, cuando el ataque es fuerte, es inútil este tipo de control.

6.1.2.3.6. Fertilización y abonaduras.

Generalmente se realizan luego de que las plántulas presentan síntomas de deficiencia de nutrientes, como caída y amarillamiento de hojas; se aplican abonos orgánicos o fertilizantes sintéticos.

También ha ocurrido, eventualmente, la caída de granizo o una helada que rompe el ápice o los tejidos de las plántulas e incluso

provocan pérdida de las hojas. En estos casos, también se ha recurrido al uso de fertilizantes de síntesis.

Según las necesidades nutricionales de las plántulas, se han aplicado varias fórmulas y dosis de fertilizantes de síntesis; cuando se han detectado deficiencias de P, se aplica 18-46-0 a razón de 50 g/20 l de agua. En el caso de necesitar N, se utiliza úrea, a razón de 60g/20 l de agua.

Entre los abonos orgánicos se suele aplicar desde estiércol de animales rumiantes, residuos de cosechas, compost, biol y abono de lombriz.

6.1.3. Etapa de endurecimiento

Esta etapa corresponde al último período de tiempo en que las plántulas permanecen en el vivero. El objetivo es preparar la plántula para el campo definitivo; las principales actividades que se realizan son: poda radicular, remoción, clasificación y lignificación.

6.1.3.1. Poda de raíces.

Se aplica principalmente a las plántulas que han sido criadas en platabandas. El propósito es propiciar la formación de una buena cabellera radicular, con la mayor cantidad de raíces secundarias y evitar su entrecruzamiento.

La primera poda se realiza cuando las plántulas presentan entre 20 y 25 cm de altura; posteriormente, es necesario podar cada dos meses. La poda se ejecuta con un ángulo de inclinación de 45°; se

busca cortar la raíz principal a 20 cm de profundidad; también se efectúan podas laterales, alrededor de la planta o entre hileras y entre plantas.

6.1.3.2. Remoción y clasificación.

Consiste en clasificar las plantas en tres tamaños (grande, mediano y pequeño) al tiempo que se las remueve; las raíces que han traspasado la funda mueren por la remoción, y se produce una virtual poda de raíces. Estas dos actividades se realizan dos meses antes de que la planta salga al campo definitivo.

6.1.3.3. Endurecimiento o lignificación.

Para conseguir la lignificación es necesario suspender el riego un mes antes; y la fertilización, tres meses antes de ser llevadas las plántulas al campo definitivo. El indicador utilizado para verificar el estado de lignificación es la forma del tallo y su color; la forma debe ser redonda, y el tallo, desde su base, tener un color café oscuro en un 80 % al menos.

6.1.4. Etapa de evaluación de la calidad de plántulas

Es importante considerar algunas características funcionales que deben reunir las plántulas para que puedan desarrollarse adecuadamente en el campo definitivo. Para ello, se estila seleccionar plantas de calidad.

La plántula de calidad se define como la que es capaz de alcanzar supervivencia, crecimiento y desarrollo óptimo en el sitio de

plantación y, por tanto, cumplir los objetivos para los cuales fue plantada.

Los criterios utilizados para definir la calidad de las plántulas en diferentes momentos y circunstancias son cuatro: la calidad genética, la morfológica, la fisiológica y la sanitaria.

La calidad genética está relacionada con el origen de la semilla y con los otros materiales de reproducción a partir de los que se obtiene la plántula. *A. nepalensis* presenta variaciones entre poblaciones y da lugar a ecotipos que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos, como por ejemplo, la altitud. Las plántulas que están por debajo de 1 200 m s.n.m. pueden alcanzar una altura entre 25 y 35 cm, en 4 o 5 meses; pero, a elevación superior, puede tomar hasta 11 meses alcanzarla. La calidad morfológica y fisiológica de una planta depende en gran medida, de sus características genéticas.

La calidad morfológica se mide utilizando parámetros cualitativos y cuantitativos. Entre los primeros están, la presencia de daños o heridas en las plantas, deformaciones radicales y tallos múltiples. Los parámetros morfológicos de naturaleza cuantitativa, que habitualmente se emplean en el control de calidad de las plántulas son: la altura de la parte aérea, diámetro en el cuello de la raíz y relación tallo-raíz.

La calidad sanitaria se refiere a la presencia de plagas o enfermedades en la plántula que pueden mermar su futuro desarrollo.

La aplicación de estos criterios ha dado como resultado la selección de plántulas con las siguientes características: tamaño entre 20 y 25 cm para plántulas criadas en fundas de 4 x 6" o 5 x 6"; 40 a 80 cm en plántulas criadas en platabandas con pan de tierra; 12-18 cm en plántulas criadas en tubetes; tallo lignificado; buen follaje; tallo recto sin bifurcaciones; relación tamaño raíz (relación 1:1 en peso seco); plántula sin ataque de plagas o enfermedades, y sistema radicular sin deformaciones con abundantes raíces secundarias.

6.2. Variabilidad genética

Dado que la especie se ha comportado con éxito en un solo sitio –la zona de Intag– es importante considerar que en la reproducción sexual, la información genética de los descendientes está estructurada por la contribución genética de los dos progenitores (femenino y masculino), situación que genera una importante variabilidad genética; por lo tanto, los individuos de la especie no son idénticos, lo cual se refleja en las diferencias que se han observado en la forma del fuste, estructura de copa, desarrollo radicular, producción de semillas, crecimiento en diámetro y altura y adaptación a sitios con diferencias en cuanto a microclima y suelos.

Desde la introducción de la especie en el año 1990, se han producido dos generaciones de individuos, de lo cual se colige que la variabilidad genética está permitiendo la evolución de la especie, ya que en cada generación, solamente una parte de la población sobrevive, se reproduce y transmite características particulares a su progenie.

6.3. Reproducción asexual

La propagación vegetativa de *Alnus nepalensis* D. Don a través de estacas es baja si se utilizan hormonas de enraizamiento químicas y naturales, pues se obtiene un 3,3 % de prendimiento; estacas procedentes de la parte media de la copa del árbol presentan mayor porcentaje de prendimiento si se utiliza la hormona natural de *Salix babylonica* (saucedo llorón) la cual estimula el prendimiento de estacas (Vallejos et al., 2018). Si se utilizan rebrotes aéreos de ramas podadas y se aplican enraizadores químicos como hormonagro y extractos naturales de café, trigo y saucedo, se obtiene prendimiento del 5 % (Narváez, 2021).

Existe el potencial de reproducir la especie mediante propagación asexual, puesto que se encuentran rebrotes basales, tanto en árboles vivos como en tocones de árboles cosechados (Figura 43) los cuales representan una opción para este tipo de reproducción, no obstante, se requiere investigar para comprobar si el potencial mencionado es viable.

Figura 43

Brotos basales de A. nepalensis en árbol vivo y aprovechado



Nota. En la foto de la izquierda: brotes basales en tocón de árbol aprovechado; en la derecha: brotes basales en tocón de árbol no aprovechado.



Capítulo

7

Plantación

PLANTACIÓN



Nota. Plantación en bloque de *A. nepalensis* en la zona de Intag.

La plantación con *A. nepalensis* se ha desarrollado bajo tres tipos: plantaciones en bloque, plantaciones para proteger microcuencas y plantaciones agroforestales. En el presente capítulo se analizan de manera cronológica los principales aspectos técnicos que conlleva realizar una plantación: planificación, selección del tipo de plantación, técnicas utilizadas para plantar, técnicas posplantación y la presencia de plagas y enfermedades comunes.

7.1. Planificación

La actividad de planificar las plantaciones forestales y agroforestales de pequeños y medianos agricultores es un legado de los proyectos de extensión forestal participativa que se ejecutaron alrededor de 32 años en la zona de Intag, donde se introdujo *A. nepalensis*. Se complementa este legado con experiencias, aprendizajes y conocimientos generados en la ejecución de los proyectos de investigación y vinculación con la comunidad, desarrollados por la Universidad Técnica del Norte en Ibarra, Ecuador, contribuyendo así a enriquecer el ciclo silvícola y la cadena de valor de *A. nepalensis*.

7.1.1. Modelo de planificación

El modelo de planificación que mejor se adapta a las condiciones socioeconómicas y biofísicas de los sitios de plantación, y a las características ecológicas y silviculturales de *A. nepalensis* es el que se realiza adoptando algunos y adaptando otros conceptos de ordenación forestal sostenible propuesta por la FAO (1994), el cual consta de tres elementos que se definen con tres frases: lo que se desea, lo que se puede y lo que se debe hacer.

En esencia, este modelo parte de la decisión de lo que se desea hacer con *A. nepalensis*, que es exclusiva de los agricultores propietarios de los predios, hecho que establece los objetivos de la plantación; este es el primer elemento que se ha de tomar en cuenta en la planificación.

El segundo elemento del modelo parte de lo que se puede hacer, y que permite analizar el contexto biofísico y socioeconómico del

sitio donde se realizará la plantación; en el análisis de los contextos han intervenido los proyectos de extensión forestal y agroforestal.

El tercer elemento constituye las prescripciones para la obtención de productos madereros y no madereros, así como los servicios ambientales de la plantación; esta prescripción está dada por lo que se debe hacer. La intervención de la Universidad, con proyectos de investigación y vinculación, ha dado un soporte a este elemento por medio de 25 investigaciones (tesis) de pregrado, un proyecto de investigación y, un proyecto de vinculación orientado a mejorar la cadena de valor de *A. nepalensis*.

7.1.1.1. Objetivos.

El primer paso antes de proceder a realizar una plantación forestal/agroforestal utilizando *A. nepalensis* es definir los objetivos que han sido priorizados por los agricultores y propietarios de los predios de acuerdo con sus necesidades, intereses y contexto. Son ellos quienes plantean, en primer lugar, objetivos socioeconómicos orientados a mejorar la producción forestal, agrícola y pecuaria; y, en segundo lugar, objetivos ambientales, que buscan generar impacto positivo en el suelo, agua, microclima y biodiversidad.

Por lo general, los objetivos propuestos están orientados a resolver problemas y aspiraciones; por tanto, siempre será importante profundizar en estos aspectos. En varios estudios (Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador [DFC], 1998) se comprobó que en el medio rural, mujeres y hombres tienen diferentes necesidades y aspiraciones; así, para la mujer, lo más importante es disponer de leña, forraje para sus animales y poseer un huerto agroforestal; en cuanto al hombre, su atención está centrada

en contar con madera para la construcción, delimitar el predio y mejorar la producción de la chacra (sistema agroforestal tradicional).

7.1.1.2. Contexto.

El contexto biofísico, zona de Intag, resultó idóneo para *A. nepalensis*. Esta zona está localizada en las estribaciones noroccidentales de la Cordillera de los Andes, considerado como un lugar de transición ecológica entre los Andes y la Costa. La gradiente altitudinal donde se maneja la especie varía entre 1 200 m s.n.m. y 3 200 m s.n.m.; el rango altitudinal idóneo se localiza desde 1 500 m s.n.m. hasta 2 800 m s.n.m. dentro del cual se obtienen los mejores rendimientos volumétricos de madera.

El ecosistema es clasificado como bosque siempre verde montano de la Cordillera Occidental de los Andes (MAE, 2013). La temperatura mínima donde se encuentra *A. nepalensis* es 10 °C; la media, 17,50 °C, y la máxima, 25 °C. la precipitación fluctúa entre 1 414,2 mm y 3 000 mm/año, con dos épocas bien marcadas: la primera, denominada lluviosa, entre diciembre y abril, y la segunda, seca, entre mayo y noviembre.

En el Valle de Intag se encuentran 25 microcuencas y cientos de cursos de agua. Las pendientes donde se planta la especie están entre 24 % (ondulada), 44 % (montañosa) y 76 % (muy montañosa), y poca superficie plana o con pendientes < 10 %.

El contexto socioeconómico está marcado por una estructura agropecuaria en la cual se distinguen cuatro tipos de productores: minifundistas, con un promedio de 3 ha; pequeños productores, con superficie promedio de 18 ha; medianos productores, que cuentan con un área entre 37 y 43 ha, y los grandes ganaderos extensivos que

disponen de una superficie promedio de 187 ha (Tafur y Valverde, 2008). Las principales actividades productivas son la agricultura y ganadería, a partir de las cuales obtienen alimentos utilizados en la dieta familiar. También comercializan productos como el café a mercados nacionales e internacionales.

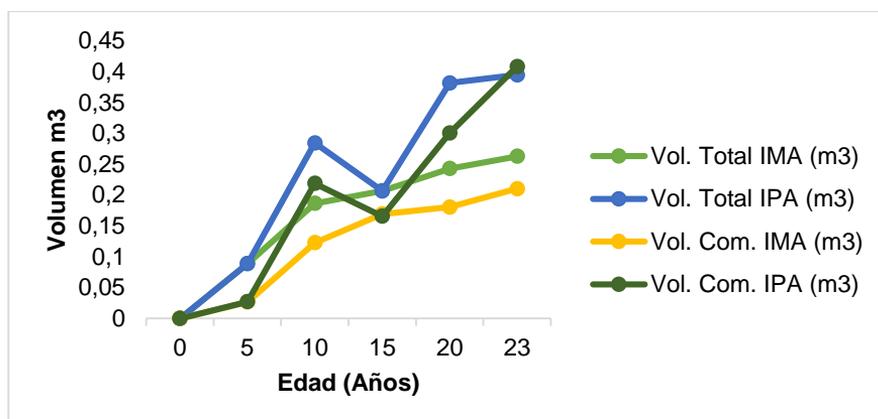
7.1.1.3. Prescripciones.

El ciclo de corta, con fines de obtener madera comercial, empieza entre los diez y catorce años, puesto que a estas edades se registra el mayor número de árboles en la clase diamétrica 40-45 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho, medido a 1,30 m desde la superficie del suelo).

En cuanto al volumen comercial, las curvas del IMA e IPA se interceptan a los quince años (Figura 44); este cruce determina la edad de la rotación comercial del rodal forestal, que presenta valores de 0,20 m³/árbol en volumen total, y 0,17 m³/árbol en volumen comercial.

Figura 44

Crecimiento en volumen (m³) de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Añazco et al. (2018).

Los objetivos planteados, el análisis del contexto y las prescripciones orientan la definición de los tipos de plantación que se ha de diseñar e implementar.

7.2. Tipos de plantación

Los tipos de plantación donde se ha establecido *A. nepalensis* son tres: plantaciones en bloque, plantaciones para proteger microcuencas y plantaciones con el propósito de mejorar la producción agropecuaria, conocidas como plantaciones agroforestales.

7.2.1. Plantación en bloque

Es un tipo de plantación conocida también como masiva o plantación pura, que consiste en un monocultivo pues se planta solo la especie *A. nepalensis*, con el objetivo de obtener madera.

De acuerdo con la superficie plantada, se distinguen dos subtipos de plantación en bloque: las de menos de una hectárea que se denominan bosquetes (Figura 45) y las superiores a esta superficie, que se denominan plantación masiva.

Figura 45

Bosquete establecido en zona media de microcuenca



7.2.2. *Plantación para proteger microcuencas*

Se utilizan dos subtipos de plantaciones. En la parte alta de la microcuenca se establecen plantaciones con el propósito de incrementar la cubierta vegetal; se planta primero *A. nepalensis* como especie pionera, para luego dar cabida a otras especies arbustivas, arbóreas y herbáceas; es un modelo de restauración, más que una plantación propiamente dicha.

El otro tipo de plantación se efectúa en la parte media o baja de la microcuenca; son plantaciones ribereñas que se establecen a las orillas de los cursos de agua (ríos, quebradas u otros), con el fin de evitar la erosión de los bordes de estos, y proteger así terrenos con cultivos, pastos, infraestructura productiva e incluso viviendas (Figura 46).

Figura 46

Plantación ribereña de A. nepalensis



7.2.3. *Plantación agroforestal*

Representa el sistema de plantación más utilizado (Checa, 2010) *A. nepalensis* ha sido plantada en diferentes prácticas agroforestales tales como: linderos maderables, cercas vivas, cortina rompevientos, pasturas en callejones, árboles con cultivos agrícolas perennes y huertos caseros.

En este sentido Cevallos (2017), en estudio realizado en un área de 127,84 ha encontró 242 predios con la presencia de *A. nepalensis*, de los cuales 48,76 % fueron linderos maderables (Figura 47); 17,35 %, plantaciones puras; 14,88 %, cercas vivas; 11,15 %, bosquetes; 3,72 %, árboles con cultivos perennes; 2,50 %, cortinas rompevientos; 1,24 %, huertos caseros, y 0,40 %, pastura en callejones.

Figura 47

Lindero con A. nepalensis en áreas de cultivos agrícolas comerciales



En este estudio no se diferenciaron las plantaciones con fines de protección de microcuencas; las plantaciones ribereñas se incluyen en la clasificación de linderos y en bosquetes, las localizadas en zonas de recarga hídrica.

7.2.4. Técnicas para la plantación

Las principales técnicas de plantación utilizadas están en concordancia con los objetivos y tipo de plantación seleccionado. Utilizando la línea del tiempo como elemento ordenador del proceso de plantación, las técnicas que se han de utilizar deben definirse antes, durante y después de la plantación. Entre las principales están las siguientes:

7.2.4.1. Técnicas antes de la plantación.

Corresponde al momento anterior a la plantación, donde la principal actividad que se va a desarrollar es su diseño.

7.2.4.1.1. Diseño de la plantación.

Incluye un análisis de las características del sitio donde se va a plantar en congruencia con las características propias de la especie, densidad y época de la plantación, análisis social del sitio en que se va a plantar y provisión de herramientas e insumos.

7.2.4.1.2. Análisis del sitio de plantación.

Este análisis consiste en precisar las variables edafológicas y microclimáticas.

Análisis de variables edafológicas

Las variables edafológicas deben enfocarse en conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; para ello, es necesario realizar un análisis de suelo previamente a la plantación. En varios análisis de suelos realizados en sitios donde posteriormente se plantó *A. nepalensis*, los resultados de laboratorio promedio se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9*Propiedades de los suelos donde se planta A. nepalensis*

Propiedad analizada	Parámetro analizado	Sub-parámetro analizado	Método utilizado	Unidad	Resultado	Interpretación
Químicas	pH	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	-----	6,31	Ligeramente ácido
	Materia orgánica	M.O.	Volumétrico	%	3,39	Alto
			N	PEE/SFA/09	%	0,17
	Macronutrientes	P	Colorimétrico	mg/kg	4,8	Bajo
			PEE/SFA/11			
			K	cmol/kg	0,34	Medio
	Micronutrientes	Ca	Absorción Atómica	cmol/kg	4,02	Alto
			PEE/SFA/12			
			Mg	cmol/kg	0,83	Alto
			Fe	mg/kg	334,8	Alto
			Mn	mg/kg	7,44	Medio
			Cu	mg/kg	5,35	Alto
			Zn	mg/kg	< 1,60	Bajo
Clase textural	Arena		%	50	Franco Arcillo Arenoso	
		Limo	Bouyoucos	%		26
		PEE/SFA/20				
		Arcilla		%		24
Físicas	Densidad	Aparente	Gravimétrico	g/ml	1,21	
		PEE/SFA/23				
	Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,46		
Porosidad			%	49	Adecuada aireación y retención de agua	
Contenido de humedad	Contenido de humedad		Método de secado al horno	%	29,70	
Compactación	Compactación		Ensayo de Proctor			Baja

En términos generales, para crecer y desarrollarse adecuadamente, *A. nepalensis* requiere pH entre ligeramente ácido y neutro; alto contenido de materia orgánica; con respecto a los macronutrientes es importante que estos presenten valores entre medio y alto, al igual que los micronutrientes. En cuanto a las condiciones físicas de los suelos, de preferencia deben poseer una textura franca, no compactados y buena porosidad para una adecuada aireación, y favorable retención de agua. Otros elementos que deben analizarse son la pendiente, la profundidad y la pedregosidad.

Análisis de variables microclimáticas y fisiográficas

El predio donde se plantará *A. nepalensis* debe tener una temperatura y precipitación que facilite su crecimiento y desarrollo; además, deben considerarse otros parámetros, como presencia de vientos y heladas, nubosidad, humedad ambiental, entre otros; la especie no soporta heladas ni vientos fuertes. Entre los parámetros fisiográficos que deben tomarse en cuenta están la altitud (m s.n.m.) y la topografía; y ligada a esta última, la ubicación respecto a la salida y puesta del sol.

De las experiencias e investigaciones realizadas en sitios ubicados en distintos rangos altitudinales, y con valores de temperatura y precipitación que difieren en cada sistema de plantación, con la sobrevivencia (medida a los doce meses de establecida la plantación) como el principal indicador, los mejores resultados se generaron en el sitio localizado a 1 970 m.s.n.m., con 17 °C promedio y 1 797 mm de precipitación promedio anual (Tabla 10).

Tabla 10*Sobrevivencia de plantaciones con la especie A. nepalensis*

Sistema de plantación	Altitud (m s.n.m.)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Sobrevivencia (%)
Silvopastoril	1 970	17,0	1 797	100
Silvopastoril	1 654	17,50	2 191	85
Bosquete	1 600	18,0	1 500	90
Lindero	1 600	18,0	1 500	69

Nota. Adaptado de Arteaga (2018).

7.2.4.1.3. Densidad de la plantación.

Con el propósito de cumplir los objetivos y tipo de plantación, la primera actividad es la de definir el área o longitud del terreno destinado a ello.

El número de plantas que se establecerán (plantar) por unidad de superficie está en función de la pendiente del terreno, arquitectura futura de la especie y el manejo silvicultural previsto, todo lo cual define el espacio entre plantas y entre hileras, conocido como densidad de plantación.

Para plantaciones en bloque, en terrenos con pendiente inferior al 10 %, se utiliza la técnica de plantación conocida como marco real; y en terrenos con pendientes superiores al 10 %, la técnica tresbolillo; esta última incluso con el fin de coadyuvar a controlar la erosión del suelo.

Los distanciamientos entre plantas utilizados bajo la técnica marco real, fluctúan entre 3 y 4 m, y también entre hileras

entre 3 y 4 m; por lo tanto, es una densidad de plantación entre 1 111 y 833 plantas/ha. Cuando se utiliza la técnica tresbolillo, los distanciamientos fluctúan entre 3 y 4 m, para lo cual se establece la densidad de plantas entre 1 283 y 722 plantas/ha.

También se planta con otras densidades, lo cual depende del tipo de arreglo que se vaya a utilizar, por ejemplo, en sistemas agrosilvícolas se planta café *Coffea arabica* a una distancia de 2 x 2; *A. nepalensis* a una distancia de 4 x 4; guabas *Inga densiflora* y plátano *Musa paradisiaca* a una distancia de 5 x 5 (Núñez, 2022).

7.2.4.1.4. Época de plantación.

La época de plantación idónea está definida por la presencia de las lluvias. Es así como la plantación se realiza cuando se presentan las primeras lluvias; la época lluviosa está cambiando, probablemente por influencia del cambio climático; no obstante, en términos generales, esta ocurre entre diciembre y marzo.

Como regla general, las plantaciones se realizan, a más tardar, hasta 30 días antes del final de las lluvias. En cuanto al día de la plantación, y si es posible, lo mejor es escoger los días nublados o con lluvia intermitente, puesto que la alta humedad ambiental reduce el choque de pasar de un medio de cultivo bajo condiciones controladas, a otro en el terreno definitivo.

7.2.4.1.5. Análisis social del sitio en que se va a plantar.

Tanto en los sitios seleccionados para realizar las plantaciones como en su entorno, existen dinámicas sociales que requieren ser

entendidas –y atendidas– antes de ejecutar los proyectos de plantación. Una de estas constituye el fenómeno migratorio, que es el principal causante de que hoy haya disminuido la población rural, lo que genera, entre otras situaciones, una disminución de la oferta de mano de obra local, que deviene en delegar esta responsabilidad a otros integrantes de los diferentes grupos etarios, mujeres y hombres adultos, y menores de edad; de allí la necesidad de que se efectúe un análisis social en función de la equidad entre hombres, mujeres e intergeneracional, los cuales son básicos antes de emprender en las actividades de plantación.

7.2.4.1.6. Provisión de herramientas.

El tipo de herramienta que se utilice debe estar en función de quien realizará las actividades de plantación, es decir, si es una mujer u hombre adultos, mujer u hombre joven, o menor de edad. La barra y la pala de desfonde son las herramientas más utilizadas para la excavación de hoyos; el machete, para el desbroce; el zapapico y el azadón, para picar la tierra y extraer buen suelo, en caso de que se requiera rellenar los hoyos.

Existen varios tamaños, modelos y tipos de las herramientas antes mencionadas; por ello es necesario seleccionar las que se adapten a la persona que las utilizará. Por ejemplo, si la mujer, o un niño o niña van a excavar los hoyos, se preferirán barras de bajo peso (4 libras o menos).

7.2.4.2. Técnicas durante la plantación.

La plantación se realiza manualmente; las técnicas se ejecutan cronológicamente; se empieza con el ordenamiento de la plantación, que determina la preparación del terreno; sigue el hoyado; luego, el transporte de las plantas, la fertilización y la abonadura al momento de plantar; la poda de raíces y, para finalizar, la colocación de la planta en el hoyo, y culminar así esta etapa.

7.2.4.2.1. Ordenamiento de la plantación.

Se refiere a la disposición que se da a las plántulas en el terreno definitivo, lo cual condiciona su preparación para la plantación. *A. nepalensis* ha sido plantada en siete tipos de arreglos, lo que depende de la pendiente del terreno.

Cuando las plantaciones se establecen en terrenos planos o con pendientes inferiores al 10 %, se utilizan, de preferencia, hileras con arreglo cuadrado también conocidas como marco real o hileras con arreglo rectangular; en terrenos con pendientes superiores al 10 % se utiliza un arreglo de hileras al tresbolillo o fajas en contorno; en terrenos con pendientes inferiores al 30 %, se alinea la plantación en curvas de nivel; para terrenos con pendientes fuertes, superiores al 30 %, se utilizan terrazas individuales; además, se ha usado un arreglo irregular.

Hileras con arreglo cuadrado o marco real

En esta técnica, las plantas se distribuyen a una misma distancia, tanto en la hilera, como entre hileras (ejemplos 3 x 3 m o 4 x 4 m) (Figura 48).

Figura 48

Plantación en hileras con arreglo marco real



Hileras con arreglo rectangular

En este tipo de arreglo, la separación entre hileras es mayor que la distancia de las plantas sobre la hilera (ejemplo 2 x 4 m).

Hileras al tresbolillo

La disposición de las plantas entre las hileras se coloca en forma alternada, dando una disposición triangular.

Fajas en contorno

Las plantas se colocan en fajas perpendiculares a la pendiente, a una distancia entre 8 y 15 m entre fajas, y entre 4 y 6 m entre plantas (Figura 49).

Figura 49

*Vista parcial de plantación de *A. nepalensis* en fajas en contorno*



Plantación en curvas de nivel

Una curva de nivel es una línea en la cual todos sus puntos se encuentran a la misma altura. La técnica consiste en orientar las hileras de la plantación siguiendo las curvas de nivel. Esta práctica contribuye a disminuir la escorrentía del agua y el arrastre del suelo; una vez que los árboles han alcanzado entre tres y cinco metros de altura, sus raíces se han desarrollado y el follaje aporta con hojarasca, por ser una especie caducifolia.

Como práctica de conservación de suelo, las hileras de árboles ayudan a mejorar las condiciones de este y favorecen hacer de él un uso adecuado; no obstante, debe ser combinada con otras, ya que aislada no resuelve completamente el problema de la pérdida de suelo.

Terrazas individuales

Se llaman terrazas individuales porque en cada una se planta un árbol; consisten en un corte y un relleno no continuo. Se ubican siguiendo la orientación de curvas de nivel y se construyen de manera alterna, en forma de tres bolillo.

Cada terraza individual consiste en una plataforma circular de 1,5 metros de diámetro, y cuenta con un pequeño drenaje hacia un lado. Además, de su función de reducir la erosión, la terraza individual permite la captación y la conservación de la humedad y ayuda en la sobrevivencia de los árboles recién plantados.

Arreglo irregular

Se utiliza cuando el terreno no permite un arreglo regular o cuando el propietario destina determinados espacios como bordes de caminos, taludes, zanjas o acequias. En estos casos, un criterio para plantar debe fundamentarse en escoger un sitio donde mejor queden dispuestas las plantas y, que se respete el espacio mínimo que ocupará el árbol una vez que crezca y se desarrolle.

7.2.4.2.2. Preparación del terreno.

La primera actividad es la marcación, que consiste en orientar las filas e hileras de la plantación. La orientación que debe darse a la

plantación es de este (E) a oeste (O) para la mejor utilización de la radiación, aprovechando el movimiento del sol.

La segunda actividad es la de marcar el lugar en que se harán los hoyos para la plantación; cuando existe vegetación pequeña (chaparro) no se la elimina totalmente, sino en forma parcial; se desbroza solo un área de un metro de diámetro.

7.2.4.2.3. Hoyado.

Los hoyos se realizan entre cuatro a ocho días antes de la plantación, a fin de que estén suficientemente aireados; la dimensión es de 40 x 40 x 40 cm; debe evitarse hacer hoyos superficiales y cónicos. Cuando se excavan los hoyos, se estila que los primeros 20 cm de tierra que se extraigan se coloquen en un costado del hoyo, y el resto, al otro costado; al momento de plantar, la primera tierra extraída se coloca al fondo del hoyo (porque es la mejor) y la que se saca de la parte inferior servirá para rellenar la parte superior del hoyo.

En terrenos inclinados, al excavar un hoyo no se deja la tierra fuera de este, por cuanto si se lo hace con anticipación, la lluvia arrastrará la tierra removida y no se dispondrá de esta al momento de plantar.

Se han tenido inconvenientes cuando se abren los hoyos con antelación, puesto que las paredes del hoyo tienden a secarse y endurecerse, lo cual forma una barrera que dificulta el normal crecimiento y desarrollo del sistema radicular. Además, en suelos arcillosos, a menudo se llenan de agua.

7.2.4.2.4. Transporte de plántulas.

El primer aspecto técnico es asegurar que las plántulas reciban riego en el vivero, el día anterior al transporte; la forma adecuada de tomar las plántulas es por la funda (bolsa) y no por el tallo; cuando el transporte es a largas distancias, es menester asegurar que el vehículo que las transporta esté provisto de una lona o carpa para evitar que las plántulas reciban el sol o el viento; además, debe evitarse que vayan apiladas una encima de otra, y así prevenir daños en sus tallos; cuando el sitio de plantación está distante del vivero, es preferible utilizar plántulas producidas en funda y de menor tamaño.

7.2.4.2.5. Fertilización y uso de abono orgánico.

El fósforo es el elemento más escaso en los suelos donde se planta *A. nepalensis*, le siguen nitrógeno y potasio (Tabla 9); en los suelos volcánicos de los Andes centrales y norte del país el boro es un elemento escaso. La experiencia con sistemas agroforestales que mejor resultado ha dado es la aplicación de 50 g de NPK (10-30-10 o 18-46-0) y 5 g de boro, al momento de plantar (fertilización de fondo).

Existen dos técnicas que se utilizan cuando se aplican fertilizantes al momento de la plantación. La primera se denomina fertilización de fondo, también conocida como aplicación con sello; consiste en colocar el fertilizante en el fondo del hoyo; luego, este fertilizante se cubre con una capa de suelo de 5 a 10 cm de espesor, a fin de evitar que las raíces toquen el fertilizante; si esto llega a suceder, la planta muere.

La segunda técnica es la aplicación en mezcla; consiste en colocar el fertilizante en el hoyo de plantación y se revuelve con una herramienta (pala o lampa), hasta que se mezcle completamente, y luego se procede a realizar la plantación.

El abono orgánico aporta al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo; entre estas, la aireación y porosidad que permitirán un mejor desarrollo radicular y retención de humedad; además, es de esperar que aporte con nutrientes, una vez que esta materia orgánica se mineralice. La fuente de materia orgánica más utilizada es la que proviene de ganado bovino en estado seco; se coloca al fondo del hoyo conjuntamente con el fertilizante químico, en cantidad de 250 g/hoyo o equivalente a “un puñado”.

7.2.4.2.6. Poda radicular.

El 99 % de la producción de plántulas de *A. nepalensis* se efectúa en fundas de polietileno. El principal problema que se presenta en la producción de plántulas en fundas es el enrollamiento de las raíces (o “torta de raíces”) en el fondo de las fundas; para eliminar las raíces enrolladas se procede a realizar la poda radicular.

Se ejecutan dos tipos de podas radiculares. La primera es la común, en la que se procede a eliminar la “torta de raíces”; consiste en cortar entre dos, y dos y medio centímetros de la base de las fundas; este corte se hace en el lugar mismo de la plantación, antes de introducir la planta en el hoyo.

El segundo tipo de poda se realiza cuando se presentan raíces laterales lignificadas (color café), enroscadas bajo el plástico; en

este caso, además del corte de la base y luego de haber quitado la funda, es recomendable hacer tres cortes verticales poco profundos, de 3 a 4 mm y equidistantes.

7.2.4.2.7. *Plantación.*

En el hoyo rellenado se hace un hoyuelo que sea suficientemente grande como para recibir el pan de tierra de la plántula, que se coloca verticalmente en el centro del hoyo para asegurar que las raíces mantengan su conformación natural. Después de ubicar la planta en el centro del hoyo, se rellena cuidadosamente. Se estila no poner más de dos a tres centímetros de tierra sobre el cuello de la raíz. Al final de esta actividad, la tierra queda al nivel del terreno o ligeramente más elevada, ya que baja al compactarse posteriormente, por efecto de las lluvias.

7.2.4.3. *Técnicas posplantación.*

Las técnicas que se realizan con frecuencia son: deshierbe, replante, protección de las plantaciones y evaluación.

7.2.4.3.1. *Deshierbe.*

Es una técnica que se ejecuta para eliminar las especies competidoras; se logra eliminando las no deseadas, conocidas como malezas alrededor de la planta, lo cual mejora la disponibilidad de agua, luz y nutrientes. Se elimina la maleza manualmente, con toda su raíz, a una distancia de 50 cm alrededor de la planta, lo que se conoce como coronamiento; esta actividad se realiza dos veces

anualmente, durante los dos primeros años de vida de las plantas de *A. nepalensis*.

El deshierbe se realiza al final de la época de lluvia, a fin de que la plantación ingrese sin malezas a los períodos de sequía. En áreas de ladera, al momento de hacer el coronamiento, ha dado buenos resultados formar pequeñas terrazas para maximizar la captación de humedad junto a la planta. La maleza cortada se utiliza como “mulching” para reducir la evaporación.

7.2.4.3.2. Replante.

En sistemas agroforestales, la premisa para realizar el replante es el hecho de que la muerte o pérdida de plantas anula la posibilidad de que estos cumplan con los objetivos para los cuales fueron establecidos. En particular, se estila hacer replantes en fajas en contorno y plantaciones en curvas de nivel, puesto que los espacios vacíos de la plantación no permitirían un aceptable control de la erosión. Por otro lado, no se realizan replantes en plantaciones masivas, cuando las pérdidas de plantas son dispersas y no superen el 15 al 20 %.

Siempre se busca que las plantas que se utilizan en el replante sean de mayor calidad y tamaño posible, a fin de incrementar la posibilidad de que iguallen a las primeras y se plantan al inicio de la siguiente época de lluvias.

7.2.4.3.3. Protección.

Después de la plantación, las plantas están expuestas a sufrir daños, sea por acción de personas, animales o factores ambientales. Robos, ramoneo de animales y períodos prolongados de sequía son los principales factores que se han presentado; no obstante, la valoración que le dan los agricultores a *A. nepalensis* ha sido un factor influyente para minimizar los daños.

En plantaciones masivas, cuando se requiere proteger las plantas, el uso de alambre de púas colocado en el perímetro de la superficie plantada, es la técnica utilizada. En plantaciones agroforestales y especialmente silvopastoriles, la cerca individual de cada árbol es la técnica mayormente usada.

7.2.4.3.4. Evaluación.

Esta actividad se ha desarrollado en el marco de las tesis de pregrado de estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal, de la Universidad Técnica del Norte, donde han utilizado variables tales como sobrevivencia, estado fitosanitario e incremento medio anual en altura total, diámetro basal, diámetro a la altura del pecho y diámetro de copa.

Imbaquingo y Naranjo (2010) evaluaron la sobrevivencia de dos plantaciones con el fin de establecer sistemas silvopastoriles; así, a los doce meses, la sobrevivencia de la plantación que asocia *Alnus nepalensis* con *Brachiaria decumbens* fue del 94,86 %, y *Alnus nepalensis* con *Setaria sphacelata*, del 100 %.

Arteaga (2018) evaluó a los doce meses el estado fitosanitario de una plantación en bosquete y otra en lindero; para bosquete obtuvo el 88% de plantas sanas, de un prendimiento del 90 %; en lindero de una sobrevivencia de 69,20 %, se obtuvo el 65,30 % de plantas sanas.

Castillo (2012) evaluó a los veinticuatro meses, el incremento medio anual de *A. nepalensis* plantado en asocio con *Brachiaria decumbens* y *Setaria sphacelata*. El incremento medio anual del diámetro basal fue entre 4,86 y 5,87 cm. El incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho fue entre 3,70 y 4,40 cm. El incremento medio anual en altura total fue entre 3,38 m y 4,54 m. En lo referente al diámetro de copa, se obtuvo incremento medio anual entre 2,35 m y 2, 55 m.

7.3. Plagas y enfermedades de *A. nepalensis* en vivero y plantaciones

En la zona de Intag, donde se encuentra la mayor cantidad de plantaciones de *A. nepalensis*, en treinta y dos años no se han reportado plagas o enfermedades importantes que hayan detenido o deteriorado el crecimiento o desarrollo de los árboles.

En el Ecuador sí hay evidencias de daños provocados por agentes abióticos, como heladas, vientos y granizo, que provocan defoliación (caída de hojas) y dañan tejidos tiernos.

En vivero, la enfermedad más común es el Damping-off, causado principalmente por *Fusarium oxysporum*. En las plantaciones, las hormigas suelen atacar las plantas jóvenes.



Capítulo

8

Manejo silvicultural

MANEJO SILVICULTURAL

Nota. Plantación de *A. nepalensis* bajo régimen de poda y raleo.

En el presente capítulo se analiza el crecimiento de los árboles a base de distintos parámetros dasométricos: altura, diámetro, área basal y volumen; se propone aplicar diferentes tratamientos silviculturales, según sea el objetivo: producir madera, productos no madereros o servicios ambientales.

8.1. Silvicultura para un manejo forestal sostenible

Este apartado se refiere a que es imprescindible un cambio de visión por el cual se deje en el pasado dirigir la mirada exclusivamente a bosques, plantaciones y árboles, únicamente como productores de madera; es necesario orientar esa mirada hacia un modelo de producción más pluralista.

El análisis en el caso de *A. nepalensis* ha sido que varios usos, como madera y producción de taninos de la corteza no se interfieren; la producción de madera y captura de carbono son complementarios, lo cual refleja que no hay conflictividad en cuanto a aspectos económicos, ecológicos y sociales.

El manejo silvicultural de *A. nepalensis* requiere conocer la dinámica de crecimiento y la estructura (arreglo) en la cual fue plantada la especie. El crecimiento depende de la calidad del sitio, que está determinada por las condiciones fisiográficas, edafológicas y microclimáticas predominantes; la estructura delimita los tipos de tratamientos silviculturales que se deben aplicar. Ambos elementos (dinámica y estructura) contribuyen al objetivo principal del manejo forestal, que es garantizar una producción sostenible de bienes y servicios; mencionado de otra manera, en el marco del enfoque sistémico sería la funcionalidad.

8.2. Crecimiento

8.2.1. Crecimiento e incremento

Una aclaración necesaria es la diferencia, similitud o complementariedad entre los términos, definición y concepto de crecimiento e incremento. La definición utilizada para el análisis del

crecimiento de los árboles de *A. nepalensis* se refiere al resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas, como la altura (m); el diámetro, medido a 1,30 m del suelo (cm); área basimétrica (m²); volumen (m³), y forma del fuste.

El comportamiento de las variables mencionadas se evalúa de acuerdo con las modificaciones producidas, generalmente, en los crecimientos acumulados a lo largo del tiempo. A esta característica se denomina incremento, que es la manera de expresar el crecimiento de las variables dendrométricas en función del tiempo; por lo tanto, el incremento es el crecimiento del árbol o rodal en un determinado período (Imaña y Encinas, 2008).

8.2.2. Dinámica de crecimiento de *A. nepalensis*

8.2.2.1. Crecimiento en altura.

Alnus nepalensis es un árbol de rápido crecimiento; la máxima altura registrada es de 28 m en ejemplares de 22 años, manejados en sistemas agroforestales donde se asocia con café *Coffea arabica*.

Los valores promedio de altura total registrados a partir de varios análisis en diferentes sitios, edades y sistemas de plantación, dan cuenta de una altura total promedio de 26,5 m, a los 23 años.

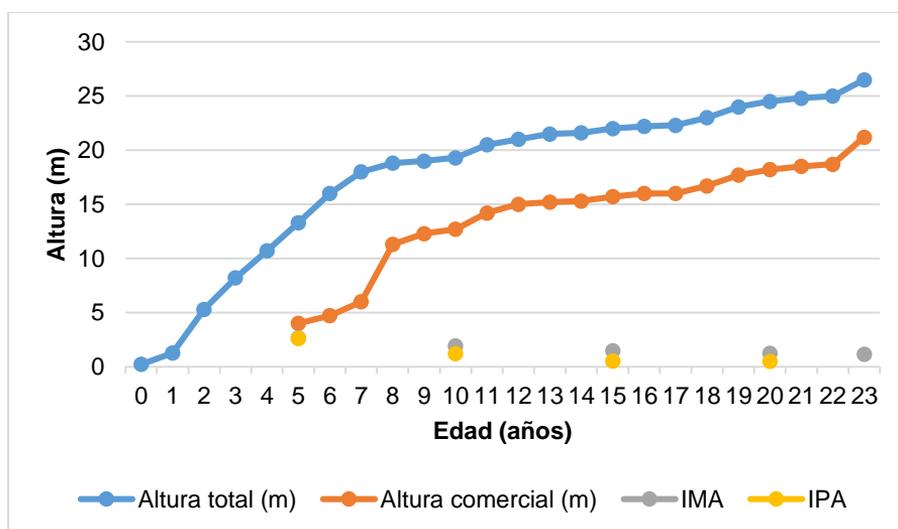
El año 5 es un punto de quiebre en el crecimiento en altura de *A. nepalensis*; en este año se obtiene el mayor incremento medio anual (IMA) de la especie, que llega a ser de 2,66 m, superior a los años anteriores y posteriores. El IMA promedio el primer año fue de 1,27 m; en el año 10 llega a ser de 1,93 m. A los 5 años, los árboles presentan un incremento periódico anual (IPA) de 2,61 m, que

constituye el valor más alto registrado a lo largo del turno de la especie (Figura 58).

En términos generales, la altura comercial presenta una tendencia similar a la altura total; no obstante, el mayor IPA de la altura comercial se registra a los 10 años (1,74 m), cuando el árbol se encuentra en su edad madura. En el periodo comprendido del décimo al decimoquinto año, el IPA de la altura comercial es de 0,6; posteriormente a esta edad, los valores de IPA disminuyen a 0,5 (Figura 50).

Figura 50

Crecimiento e incremento en altura de A. nepalensis



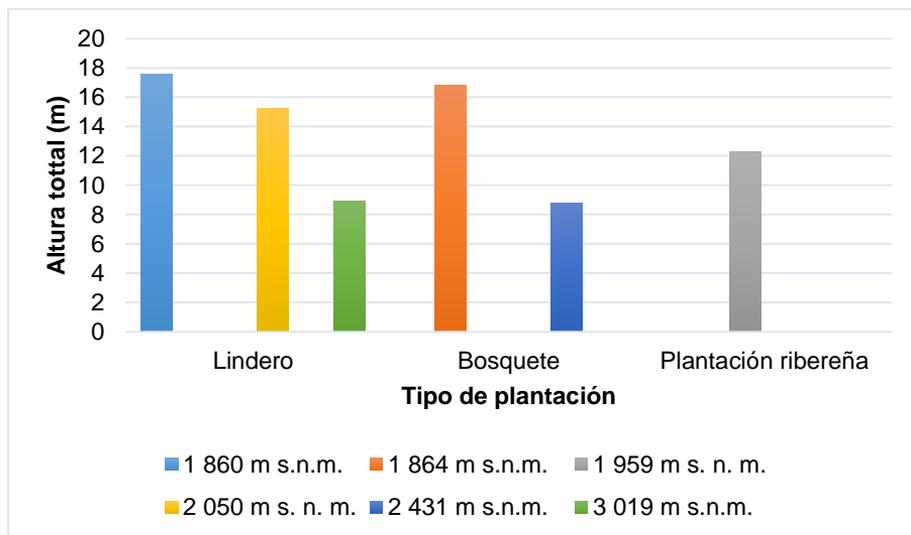
La altura alcanzada por los árboles de *A. nepalensis* difiere, según el tipo de plantación y altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentra. Se analizó la altura lograda a los cinco años de edad, en tres diferentes tipos de plantaciones localizadas a distintas altitudes sobre el nivel del mar. La plantación agroforestal lindero alcanzó 17,59 m, la mayor altura total; sigue la plantación en bloque,

conocida como bosquete, con 16,81 m; la menor altura registró la plantación ubicada en la ribera del río, con 12,29 m (Figura 50).

La variable fisiográfica altitud (m s.n.m.) influye en el crecimiento de la especie en altura; a medida que se asciende en altitud, el incremento en altura del árbol disminuye. Así, entre 1 860 y 1 864 m s.n.m., el IMA de árboles con cinco años de edad fue, en promedio, de 3,46 m; en árboles plantados entre 2 431 m s. n. m. y 3 019 m s.n.m., el IMA fue de 2,10 m. (Figura 51).

Figura 51

Crecimiento en altura de A. nepalensis según tipo de práctica y rango altitudinal

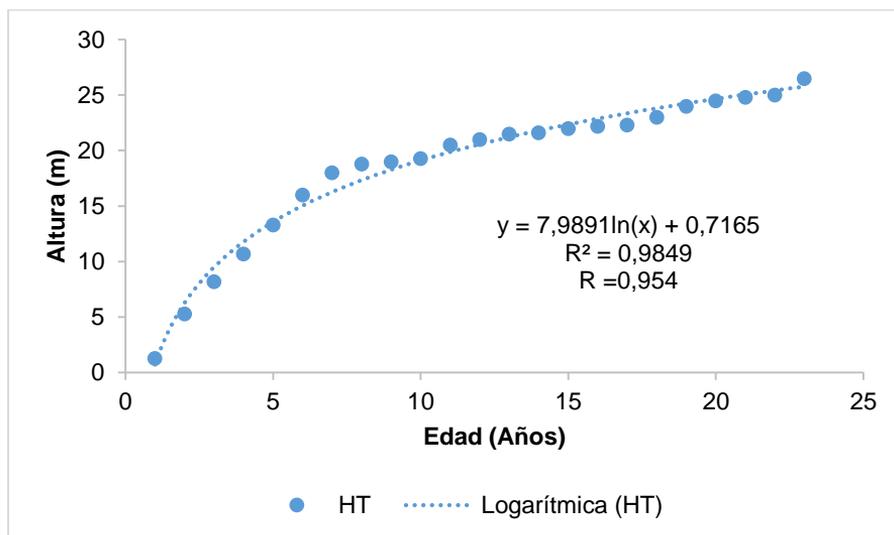


La representación gráfica del crecimiento en altura, señalado en la Figura 52, se asemeja a la forma típica de la curva de crecimiento de un árbol, conocida como curva sigmoideal o curva en “S”, en la cual se distinguen tres fases: juvenil, madura y senil.

La edad juvenil comprende desde el momento de la plantación hasta los 5 años, época en la que presenta un crecimiento rápido, pues alcanza 13,30 m de altura a esa edad. Entre el año 5 y el año 15 se presenta un IPA de 0,87 m; por lo tanto, los árboles llegan a tener una altura total promedio de 22 m, que representa la edad madura. A partir de los 15 años, el crecimiento en altura empieza a disminuir, presenta un IPA de 0,56 m y muestra una suerte de “asíntota de la curva”, que corresponde a la etapa senil (Figura 52).

Figura 52

Crecimiento en altura de A. nepalensis a diferente edad



Nota. Adaptado de Añazco et al. (2018).

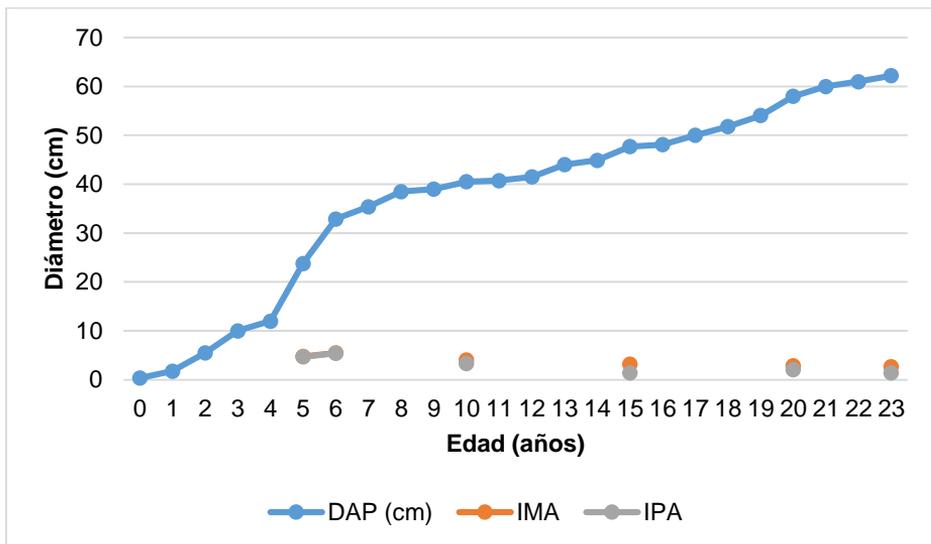
Tanto en la altura total como en la comercial, los resultados muestran la tendencia de crecimiento en altura, en edades tempranas, con su posterior desaceleración; el coeficiente de correlación indica la esperada relación de proporcionalidad entre edad y altura; el coeficiente de determinación de la regresión muestra un excelente ajuste a la curva de regresión e indica que la ecuación resultante permitirá estimar valores de altura en función de la edad.

8.2.2.2. Crecimiento en diámetro.

El mayor diámetro es de 83 cm en árboles de 22 años, manejados en sistemas agrosilvícolas, donde se encuentra asociado con el cultivo de *C. arábica*. El crecimiento en diámetro se acentúa a partir del sexto año; el mayor IMA se registra en el sexto año, con 5,48 cm, coincidiendo con la edad, luego el ritmo de incremento en altura total empieza a desacelerarse (Figura 53).

Figura 53

Crecimiento e incremento en diámetro de A. nepalensis



El diámetro alcanzado por los árboles de *A. nepalensis* difiere según el tipo de plantación y la altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentra. Se analizó el diámetro alcanzado a los cinco años de edad en tres diferentes tipos de plantaciones localizadas a distintas altitudes sobre el nivel del mar. La plantación ubicada en la ribera del río alcanzó el mayor diámetro, con 26,63 cm; el lindero,

con 25, 46 cm; el menor diámetro se registró en el bosque, con 20,85 cm.

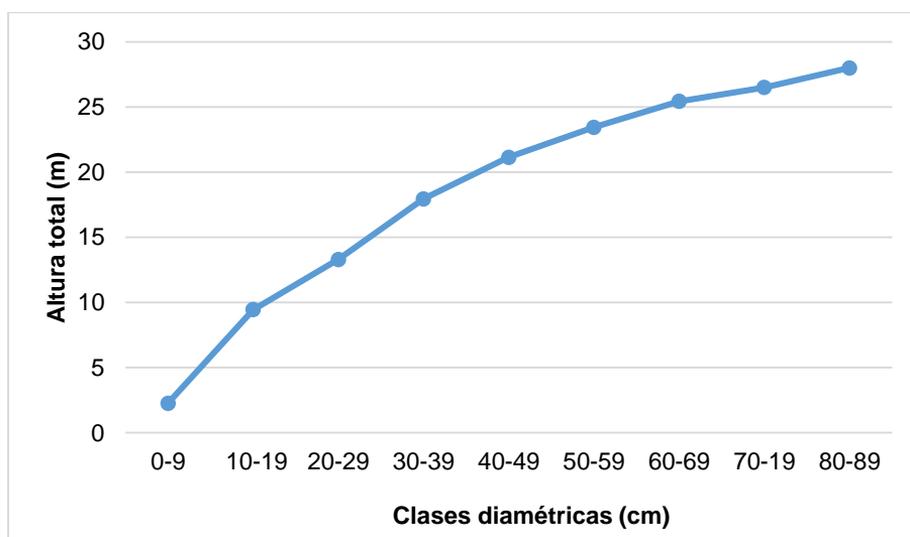
La variable fisiográfica altitud (m s.n.m.) influye en el crecimiento de la especie en diámetro; a medida que se gana en altitud, disminuye el incremento del árbol en diámetro; así entre 1 860 y 2 431 m s.n.m., el IMA de árboles con cinco años de edad fue, en promedio, de 5,03 cm; árboles plantados a 3 019 m s.n.m. presentan un IMA de 4,47 cm.

8.2.2.3. Relación del crecimiento en altura y diámetro (DAP).

En la relación de la altura con el diámetro, se observa un incremento de hasta 0,72 m por cada cm de diámetro, correspondiente a la edad juvenil del árbol (Figura 54).

Figura 54

Relación del crecimiento en altura y DAP



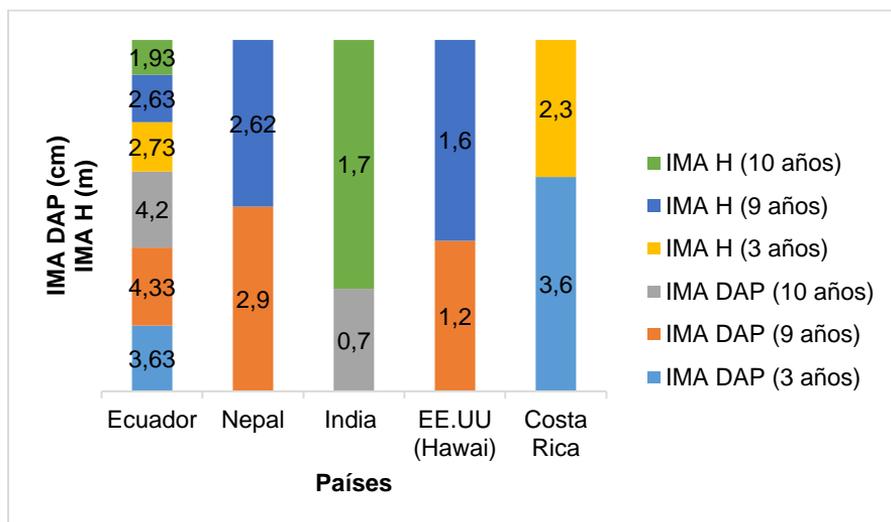
Cuando los árboles adquieren más de 40 a 50 cm de DAP, el incremento en altura disminuye a 0,5 m por cada cm de diámetro, lo que evidencia que el árbol se encuentra probablemente en la fase madura de crecimiento (Añazco et al., 2018).

La relación de las variables altura y DAP se utiliza para predecir el ingreso de los árboles en las diferentes clases diamétricas, requeridas para realizar los planes de manejo y aprovechamiento de la especie.

Los valores de IMA en diámetro y altura que se producen en el Ecuador, a diferentes edades, son superiores a los de otros países, incluido Nepal de donde es originaria *A. nepalensis* (Figura 55).

Figura 55

Incremento medio anual en diámetro a 1,30 m (DAP) y altura (H) en diferentes países



Nota. Adaptado de (Lamichhane, 1984; Neil, 1990).

8.2.2.4. Crecimiento en área basimétrica.

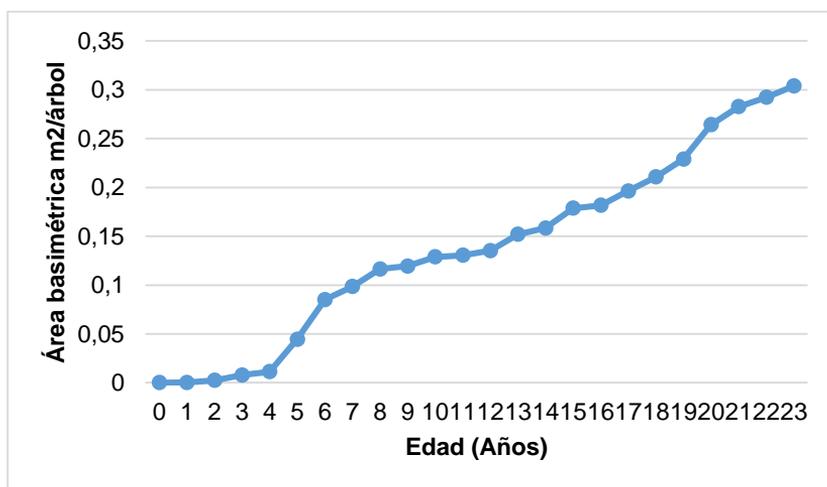
El crecimiento en área basimétrica se evalúa en función de la medición del diámetro *A. nepalensis*, en asocio con de *C. arabiga*, presenta durante un período de 22 años un crecimiento promedio de área basal de 2, 50m²/ha, y un incremento periódico anual de 0,10 m²/ha.

Se comprobó que hubo un paulatino incremento del área basimétrica durante el periodo de 23 años, de lo cual se colige que el crecimiento diamétrico siempre estuvo incrementándose (Figura 56).

La mayor cantidad de individuos de grandes dimensiones en los diferentes tipos de plantación se encuentran entre 10 y 16 años, y entre 17 y 21 años; las intervenciones silviculturales toman en cuenta este parámetro para guiar y distribuir las cortas entre los diferentes tamaños.

Figura 56

Crecimiento en área basimétrica de A. nepalensis



La clase dimétrica donde se concentran la mayor área basal y mayor número de árboles es de 40-49 cm; el área basimétrica es de 1,06 m², y el número de árboles es siete, que representa el 30 % del total (Añazco et al., 2018).

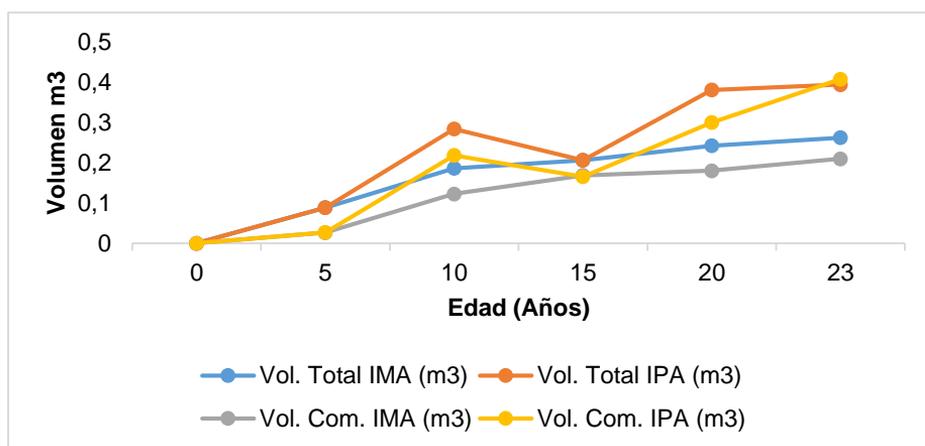
8.2.2.5. Crecimiento en volumen.

El mayor volumen total con corteza que logra un árbol de *A. nepalensis*, ocurre a los 22 años, y es de 7,57 m³/árbol; el volumen comercial corresponde al 80 % del volumen total, que equivale a 6,05 m³/árbol.

Se encontró que el IMA y el IPA se interponen tempranamente, a los cinco años, a un valor, en volumen total, de 0,089 m³/árbol. La edad de culminación biológica se obtuvo a partir del punto de encuentro de la curva del IMA y del IPA, que fue a los 15 años (Figura 57).

Figura 57

Crecimiento en volumen (m³) de A. nepalensis



En cuanto al volumen comercial, las curvas del IMA e IPA se interceptan a los 15 años; este cruce determina la edad de la rotación comercial del rodal forestal, que presenta valores de 2,95 m³/árbol en volumen total y 2,10 m³/árbol en volumen comercial.

Las curvas se interceptan a los 15 años, lo que indica una culminación temprana del crecimiento; a partir de esta edad se registran los máximos valores, hasta los 23 años.

8.2.2.5.1. Tablas de volumen.

Las tablas de volúmenes constituyen una herramienta fundamental para la cuantificación de los volúmenes maderables, así como para la formulación y ejecución de programas de manejo forestal (Aldana, 2008).

Tabla de volumen de una entrada

Las tablas de volumen presentadas a continuación pueden predecir volúmenes desde los 10 cm de DAP, en el caso de la tabla de volumen de una entrada (Tabla 11). En la tabla de volumen de doble entrada se puede conocer el volumen con un DAP desde 10 cm y una altura comercial desde los 5 m. El volumen se obtiene en función de una sola variable (DAP); se aplica a pequeñas áreas, en donde la correlación del diámetro y la altura es muy fuerte, es decir, que existe un alto nivel de homogeneidad en el desarrollo en altura, de árboles con el mismo diámetro. Las tablas son particularmente útiles para inventarios rápidos de madera, porque no requieren estimaciones de altura y forma y, los árboles pueden ser medidos por especies y diámetros, a la altura de pecho únicamente (Aguilar y Velarde, 2001; Imaña y Encinas, 2008).

Tabla 11*Tabla de volumen de una sola entrada para *Alnus nepalensis**

DAP (m)	Volumen (m ³)
0,1	0,00
0,11	0,01
0,12	0,03
0,13	0,04
0,14	0,06
0,15	0,08
0,16	0,09
0,17	0,11
0,18	0,13
0,19	0,15
0,2	0,17
0,21	0,19
0,22	0,21
0,23	0,23
0,24	0,25
0,25	0,28
0,26	0,30
0,27	0,32
0,28	0,35
0,29	0,37
0,3	0,40
0,31	0,42
0,32	0,45
0,33	0,48
0,34	0,51
0,35	0,53
0,36	0,56
0,37	0,59
0,38	0,62
0,39	0,65
0,4	0,68
0,5	1,02
0,51	1,06
0,52	1,09
0,53	1,13
0,54	1,17
0,55	1,21
0,56	1,25
0,57	1,29
0,58	1,33
0,59	1,37
0,6	1,41
0,61	1,46
0,62	1,50
0,63	1,54
0,64	1,59
0,65	1,63
0,66	1,68
0,67	1,72
0,68	1,77
0,69	1,82
0,7	1,86
0,71	1,91
0,72	1,96

Nota. Adaptado de Guamanzara (2020).

Tabla de volumen de dos entradas

Las variables independientes son, en este caso, el DAP y la altura. Este tipo de tabla es más precisa que la de una entrada ya que existe un parámetro más el cual debe considerarse y es, la altura comercial (Tabla 12).

Tabla 12*Tabla de volumen de doble entrada para Alnus nepalensis*

DAP (m)	Altura comercial (m)															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,10	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07										
0,11	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07										
0,12	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08										
0,13	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08										
0,14	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09										
0,15	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13								
0,16	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15								
0,17	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16								
0,18	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17								
0,19	0,03	0,05	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19								
0,20				0,11	0,13	0,16	0,18	0,20								
0,21				0,12	0,15	0,17	0,20	0,22								
0,22				0,13	0,16	0,19	0,21	0,24								
0,23				0,15	0,18	0,20	0,23	0,25								
0,24				0,17	0,19	0,22	0,25	0,27								
0,25					0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38					
0,26					0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40					
0,27					0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,42					
0,28					0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44					
0,29					0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46					
0,30						0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49					
0,31						0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51					
0,32						0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53					
0,33						0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56					
0,34						0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,58					
0,35						0,47	0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,72	0,74
0,36						0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69	0,71	0,74	0,77
0,37						0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79
0,38						0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81
0,39						0,60	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78	0,81	0,83

DAP (m)	Altura comercial (m)															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,40						0,63	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85
0,41						0,66	0,68	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88
0,42						0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90
0,43						0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92
0,44						0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94
0,45						0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96
0,46						0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98
0,47						0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,48						0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02
0,49						0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04
0,50						1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07
0,51						1,07	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09
0,52						1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
0,53						1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,13
0,55							1,21	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,16
0,56							1,26	1,25	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18
0,57							1,32	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,21	1,20
0,58							1,37	1,35	1,34	1,32	1,30	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22
0,59							1,42	1,40	1,38	1,36	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24
0,60							1,48	1,45	1,43	1,41	1,38	1,36	1,33	1,31	1,29	1,26
0,61							1,53	1,50	1,48	1,45	1,42	1,39	1,37	1,34	1,31	1,28
0,62							1,59	1,56	1,53	1,49	1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31
0,63							1,65	1,61	1,57	1,54	1,50	1,47	1,43	1,40	1,36	1,33
0,64							1,70	1,66	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	1,43	1,39	1,35
0,66							1,76	1,72	1,68	1,63	1,59	1,54	1,50	1,46	1,41	1,37
0,67							1,83	1,78	1,73	1,68	1,63	1,58	1,53	1,48	1,44	1,39
0,68							1,89	1,83	1,78	1,73	1,67	1,62	1,57	1,51	1,46	1,41
0,69							1,95	1,89	1,83	1,78	1,72	1,66	1,60	1,54	1,49	1,43
0,70							2,01	1,95	1,89	1,83	1,76	1,70	1,64	1,57	1,51	1,45
0,71							2,08	2,01	1,94	1,88	1,81	1,74	1,67	1,60	1,54	1,47
0,72							2,15	2,07	2,00	1,93	1,85	1,78	1,71	1,63	1,56	1,49

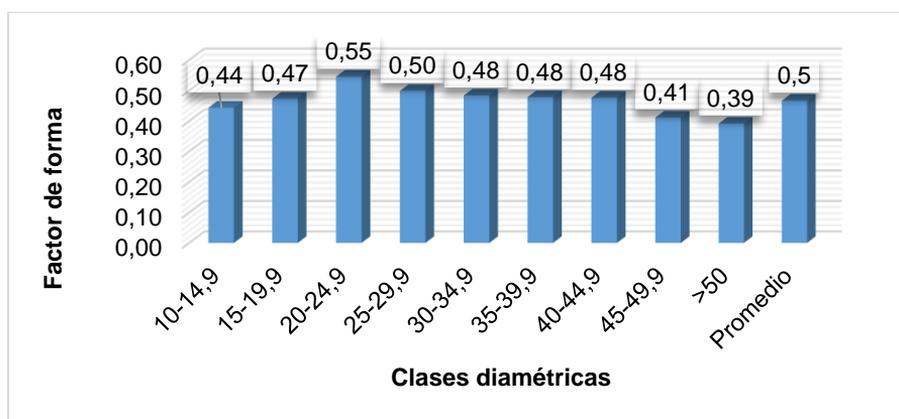
Nota. Adaptado de Guamanzara (2020).

8.2.2.6. Forma del fuste.

El fuste es también conocido como tallo o tronco. El estudio de la forma del fuste está destinado básicamente a aportar información para la estimación del volumen del árbol. Guamanzara (2020) determinó el factor de forma, a base de una muestra de 90 árboles de *A. nepalensis*, siendo en promedio de 0,5 (Figura 58).

Figura 58

Resumen del cálculo del factor de forma por clase diamétrica



Nota. Adaptado de Guamanzara (2020).

La forma del fuste de los árboles varía. La tasa de disminución de su diámetro entre la base y el ápice del árbol, conocida como ahusamiento, varía según la edad y tamaño de los árboles, y factores asociados al manejo del rodal y a las condiciones de sitio.

8.3. Tratamientos silviculturales

Los tratamientos silviculturales aplicados, están en función de los objetivos que se pretenden cumplir con *A. nepalensis* plantada bajo diferentes arreglos o tipos de plantación.

Por lo general, las plantaciones en bloque se establecen con el objetivo único de producción de madera. Las plantaciones agroforestales buscan objetivos integrales donde se incluye también, la madera. Las plantaciones en microcuencas tienen objetivos ligados a la protección y conservación de los recursos naturales.

8.3.1. Manejo silvicultural para producir madera de calidad

El principal objetivo por el cual se planta *A. nepalensis* es la producción de madera. La calidad de la madera se refleja en la ausencia de nudos, que se evitan o eliminan, si oportunamente se establece un régimen de raleos y podas.

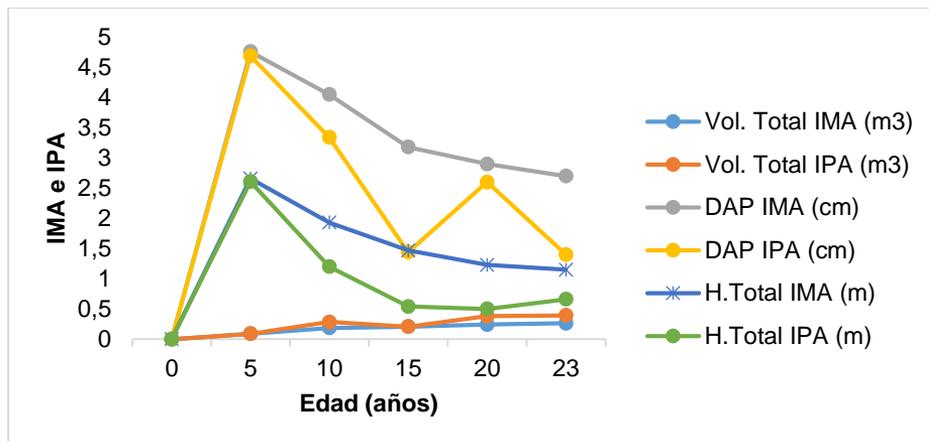
8.3.1.1. Raleo.

Se denominan raleos o aclareos, los cortes realizados en una plantación, en algún momento entre su establecimiento y su cosecha final, tiempo en el cual los árboles eliminados son de la misma especie que los árboles favorecidos (Galloway, 1987).

De acuerdo con los fundamentos de la epidometría (Imaña y Encinas, 2008) cuando del IMA alcanza su máximo valor, se define en los sistemas de manejo forestal como el mejor momento, desde la óptica silvicultural, para poder intervenir en los rodales mediante raleos. Para el caso de *A. nepalensis*, el IMA presenta su máximo valor en las variables DAP, altura y volumen, a los cinco años (Figura 59), edad oportuna para realizar el raleo. A la edad de cinco años, la altura total promedio alcanzada es de 13,3 m; altura comercial, 4 m, DAP de 23,8 cm; área basal, de 0,0444, y volumen, de 0,41 m³.

Figura 59

*Curvas de crecimiento que orientan la aplicación del raleo oportuno en *A. nepalensis**



Analizando la variable volumen, el IPA es mayor que el IMA, lo cual significa que el IMA está creciendo. De esta manera, el punto de intersección del IMA/IPA ocurre a los 15 años, lo cual indica que es el punto con el valor máximo de producción forestal por unidad de área.

Cuando, a la edad de 15 años, los árboles de *A. nepalensis* aún no alcanzan el diámetro mínimo deseado o establecido para su aprovechamiento, ya sea en función de la normativa forestal vigente o de los requerimientos del mercado, se procede a realizar acciones tales como fertilización, aplicación de abonos orgánicos y raleos, para que el rodal continúe con el crecimiento, y los árboles puedan cosecharse bajo los estándares establecidos.

Por lo antes mencionado, se manejan tres tipos de programas, en los cuales se contemplan las operaciones silviculturales con el propósito de producir madera aserrada: absoluto, intermedio y mínimo.

8.3.1.2. Poda.

A. nepalensis establecido en plantaciones masivas o también denominadas en bloque, a altas densidades y con escaso ingreso de luz al piso de la plantación, presenta poda natural; ocurre lo contrario en plantaciones bajo arreglos agroforestales, donde las plantas expuestas a la luz, desarrollan una ramificación desde la base del árbol (Figura 60).

Figura 60

Lindero de A. nepalensis donde los árboles presentan ramificación desde la base del fuste



La poda es el tratamiento silvicultural que determina en gran parte la calidad de la madera, por cuanto se eliminan las ramas que forman nudos en ella. Después, con el crecimiento de los árboles en diámetro, se produce madera limpia, sin nudos. Esta madera es de mejor calidad, por ser más resistente para la construcción y de mejores características para el trabajo.

La época de poda adecuada es la que coincide con el crecimiento más lento ocurrido en un año, esto es, en los meses de menos lluvia, conocida como época seca o de verano entre junio y agosto; se disminuye el riesgo de infección por hongos y, por ende, hay menos probabilidades de pudrición y decoloración de la madera (Carlson y Añazco, 1990).

Los criterios técnicos que se han de tener en cuenta en el momento de efectuar la poda son los siguientes: podar a alturas variables no mayores que un tercio de la altura total del árbol; el corte debe ser liso y limpio sin dejar pedúnculos (restos de ramas) ni heridas en la corteza; el corte debe hacerse cerca del fuste cuidando de no dañar los tejidos alrededor de la base de la rama; estos tejidos forman el callo que facilita la rápida cicatrización de la herida (Figura 61).

Figura 61

*Tejidos formando callo alrededor de cuello de la rama después de la poda de un árbol de *A. nepalensis**



Cuando se cortan ramas de hasta 4 cm de diámetro, se poda con un solo corte; si las ramas poseen entre 4 y 8 cm, se requiere realizar dos cortes; el primer corte se ejecuta de abajo hacia arriba, en el lado inferior de la rama; y el segundo de arriba hacia abajo, lo que impide daños a la corteza del fuste cuando la rama cae; en caso de ramas con diámetro superior a 8 cm, se efectúan tres cortes; se empieza con el primer corte en el lado inferior de la rama, a unos 30 a 60 cm del fuste; el segundo corte se ubica a unos 2 a 3 cm más allá del primer corte, en la parte de arriba, para que caiga la rama; el tercer corte se hace cerca del fuste, procurando dejar una herida lo más pequeña que se pueda. En lo posible, se debe evitar podar árboles con diámetro de ramas superior a 4 cm; para ello, se planifica un régimen de poda oportuno.

La poda para eliminar ramas bajas del fuste se realiza una vez que se haya efectuado el raleo; por lo tanto, se hace coincidir el momento de ejecutar, en los tres tipos de programas mencionados para el raleo: mínimo, intermedio y absoluto.

8.3.1.3. Programas de aplicación de tratamientos silviculturales: raleo y poda.

El primer paso antes de aplicar tratamientos silviculturales es la selección de los árboles en los que se va a intervenir con raleo y poda. La selección de los árboles se realiza de conformidad con la evaluación que de la plantación se efectúe.

El principal criterio utilizado en la evaluación es la clase de copa. En los diferentes tipos de plantación con *A. nepalensis*, se encuentran cuatro tipos de copas: dominantes, codominantes,

intermedios y dominados. La clase de copa utilizada para definir las intervenciones silviculturales es la dominante, de fácil ubicación, por cuanto los árboles que las tienen son más grandes (altos) que los árboles promedio del rodal, con copas bien desarrolladas, pero algo atestadas a los lados (Galloway, 1987). En cuanto a la luz, los árboles con copas dominantes, por el propio hecho de sobresalir sobre todos los demás, reciben plena luz desde arriba y parcialmente de los lados.

El sistema de raleo aplicado es el “raleo por lo bajo completo”. Con este tipo de raleo se procede a extraer los árboles pertenecientes a las clases de copas bajas, es decir, dominados e intermedios. Según el tipo de programa que se aplique, si es un solo raleo y la intensidad es fuerte, se sacan también la mayoría de los codominantes; en caso de aplicar un programa donde se contempla más de un raleo, los codominantes se eliminan en el segundo o tercer raleo.

La aplicación de podas y raleos en las plantaciones de *A. nepalensis*, se ejecutan bajo tres tipos diferentes de programas: absoluto, intermedio y mínimo. El programa absoluto contempla tres raleos: el primero, cuando los árboles dominantes tienen en promedio 5 m de altura; el segundo, cuando tienen 10 m, y el tercero, en el momento en que los árboles tienen 15 m de altura (Tabla 13).

El programa intermedio consta de dos intervenciones en raleos: el primero, cuando los árboles dominantes tienen en promedio, 5 m de altura y el segundo, cuando tienen 10 m (Tabla 13). El programa mínimo consiste en realizar una sola intervención silvicultural previamente a la cosecha; se trata de un raleo a los 5 m de altura (Tabla 13).

Si se relaciona la altura con la edad, los raleos se efectúan a los dos, cinco y siete años; por lo tanto, el raleo se hace en la edad juvenil. La selección de los árboles se realiza tomando en cuenta las siguientes características, en orden de importancia: dominancia, rectitud del fuste y formación de la yema terminal.

La poda se efectúa en caso de que haya necesidad; en esas circunstancias, lo apropiado es no podar más allá del 40 % de la altura total de los árboles.

Tabla 13*Programas para la aplicación de tratamientos silviculturales en A. nepalensis*

Altura promedio de árboles dominantes (m)	Tratamientos silviculturales		
	Programa absoluto	Programa intermedio	Programa mínimo
0	Densidad de plantación: 1 111 árboles/ha; 625 árboles/ha u otras de acuerdo a tipo de plantación.	Densidad de plantación: 1 111 árboles/ha; 625 árboles/ha u otras de acuerdo a tipo de plantación.	Densidad de plantación: 1 111 árboles/ha; 625 árboles/ha u otras de acuerdo a tipo de plantación.
5	Ralear todos los árboles de mala forma, bifurcados, con síntomas de enfermedad o ataque de plagas y dominados. Podar los demás hasta 2,0 a 2,5 m de altura.	Ralear todos los árboles de mala forma, bifurcados, con síntomas de enfermedad o ataque de plagas, intermedios y dominados. Podar los demás hasta 2,0 a 2,5 m de altura.	Ralear árboles mal formados, enfermos, dominados, intermedios y codominantes si el caso lo amerita, dejar 33 % de árboles/ha. Podar hasta 4,3 a 4,5 m.
10	Ralear árboles intermedios, dejar 27 % a 33 % de árboles/ha. Podar hasta 4,3 a 4,5 m.	Ralear árboles codominantes, dejar 33 % de árboles/ha. Podar hasta 4,3 a 4,5 m.	
15	Ralear todos los árboles codominantes, dejar 18 % de árboles/ha. Podar hasta 5,5 a 6 m.		
-----	Tala rasa cuando los árboles alcancen las dimensiones deseables por el marco legal, el mercado u otro. Se obtienen árboles con altura promedio de 20 m y 61 cm de DAP a los 23 años.	Se obtienen árboles con altura promedio de 20 m y 61 cm de DAP a los 23 años.	Se obtienen árboles con altura promedio de 20 m y 61 cm de DAP a los 23 años.

8.3.2. Manejo silvicultural para producir madera, productos forestales no madereros (PFNM) y generación de servicios ambientales

Por lo general, las plantaciones agroforestales donde se asocia *A. nepalensis*, se manejan con el objetivo de generar productos madereros (madera aserrada y rolliza), productos no madereros (semillas) y algunos servicios ambientales (sombra).

8.3.2.1. Raleo para producir madera.

El raleo se realiza en sistemas silvopastoriles y linderos; siempre ha sido necesario conciliar dos grandes aspectos; uno es el raleo desde el punto de vista de la producción forestal, donde los objetivos están centrados en la reducción del número de árboles para asegurar que los mejores cuenten con mayor espacio para su desarrollo; por ello, se procede a la eliminación de árboles enfermos, bifurcados, de mala forma y los que podrían constituir focos de infección, y se toma en cuenta la obtención de subproductos tales como: leña, postes y tutores para cultivos agrícolas; desde el punto de vista agropecuario, el objetivo principal del raleo es la reducción de la competencia entre árbol y cultivo.

8.3.2.1.1. Raleo en sistemas silvopastoriles.

La asociación de *A. nepalensis* con pasto es un sistema de mucho éxito. El tipo de raleo aplicado es selectivo; se eliminan los árboles defectuosos y se minimiza la competencia para el pasto, y quedan con un rodal de mejor forma y mayor valor comercial. El aporte de los árboles en materia orgánica es un hecho que debe

valorarse; esta materia orgánica proviene de la caída de las hojas en una época del año, la biomasa producto de raleo y mortandad de raíces. La densidad final entre 83 y 100 árboles/ha., ha permitido una buena producción pecuaria y de madera (ver 10.3).

8.3.2.1.2. Raleo en linderos.

En linderos, cuando el espaciamiento entre árboles es muy reducido, se procede realizar raleos. Este tipo de raleo ayuda a reducir, tanto la competencia entre árboles, como entre árboles y cultivos. Si después del raleo hay necesidad, se procede a realizar la poda con el fin de obtener madera de mejor calidad en el futuro.

8.3.2.2. Raleo para producir PFNM (semillas).

El principal PFNM aprovechado es la semilla. Varios agricultores empezaron a manejar árboles y rodales para obtener semillas con fines de comercialización y uso personal, aunque en un principio, la plantación en bloque o agroforestal fue diseñada y establecida con el objetivo exclusivo de obtener madera. Al existir demanda de semillas, el objetivo único de madera se transformó en un objetivo con dos propósitos (madera y semillas).

Los raleos se efectúan con el propósito de obtener los mejores ejemplares, a fin de convertirlos en árboles proveedores de semillas. Antes del raleo, se evalúa cada árbol, a base de sus características fenotípicas (ver Tablas 7 y 8).

El raleo se aplica a todos los árboles de mala forma, bifurcados, con síntomas de enfermedad o ataque de plagas, ya se trate de dominados, intermedios y codominantes.

8.3.2.3. Raleo para generar servicios ambientales (sombra).

El servicio ambiental en el cual se aplican raleos es la sombra. Los sistemas agrosilvícolas donde se asocia *A. nepalensis* con café (diferentes variedades), tienen como su principal objetivo la generación de sombra por parte de la especie forestal; de allí, las técnicas de intervención silvicultural se orientan al manejo óptimo de la sombra.

La regulación de la sombra por raleo consiste en eliminar un porcentaje de la población de árboles establecida originalmente; esta es una práctica común, puesto que, *A. nepalensis* se establece a una alta densidad; y, debido a su rápido crecimiento en altura y formación de copa en los dos primeros años, se utiliza como sombra temporal y después como permanente.

Valles (2000) encontró en algunos de estos sistemas antes mencionados un porcentaje de sombra de 115 %, debido a la alta densidad de árboles. Se conoce que el café es una especie que, de acuerdo con los factores ambientales predominantes en el sitio de cultivo, requiere entre 25 y 30 % de sombra; se intervino con raleos hasta lograr los porcentajes adecuados de sombra para mejorar la producción y productividad del café. En este caso, el raleo se efectuó eliminando árboles seleccionados previamente en las áreas más oscuras.

Los objetivos específicos del raleo en sistemas agroforestales con café son:

- Acelerar el crecimiento de los árboles en diámetro y altura, y aumentar el porcentaje de árboles que alcanzan la madurez.
- Mejorar la calidad del árbol y obtener rendimientos intermedios.
- Aumentar la penetración de luz para desarrollar copas más grandes.
- Aumentar la temperatura del suelo y acelerar la descomposición.
- Aumentar las corrientes internas de aire y reducir la humedad dentro del cultivo.
- Fomentar el desarrollo de raíces y mantener la cobertura herbácea para controlar la erosión.
- Reducir el porcentaje de sombra e incrementar la producción (Farfán, 2014).

8.3.2.4. Poda.

Se practican tres tipos: poda para eliminar ramas bajas, poda de raíces y poda para manejo de sombra. El primer tipo se orienta a la producción de madera sin nudos (Figura 60); los otros dos tipos se describen sucintamente a continuación.

8.3.2.4.1. Poda de raíces.

Se efectúa para disminuir la competencia entre el árbol y los cultivos o pastos; y entre árboles, por agua, luz y nutrientes. En plantaciones lineales, ya sean linderos, cortinas rompevientos o cercas vivas localizadas en áreas de cultivos agrícolas, se recomienda realizar la poda anualmente, a una distancia entre los árboles, de 0,75 m y 1,0 m.

Una técnica de poda de raíces permanente es la apertura de una zanja de 40 a 50 cm de profundidad. Esta zanja se excavará entre la hilera de árboles y la zona de cultivo, a la distancia recomendada; la zanja se constituirá en un obstáculo para el avance de las raíces hacia los cultivos, puesto que, al momento de exponerse al aire, las raíces morirán.

Un impacto comprobado de este tipo de poda ha sido el rebrote de un sistema radicular más fibroso, lo cual permite a la planta aprovechar mejor los nutrientes escasos, como el P. Entre los efectos negativos está la disminución de la velocidad de crecimiento del árbol, aunque es temporal, por cuanto, una vez restablecido y fortalecido el sistema radicular, el árbol retoma el ritmo de crecimiento.

8.3.2.4.2. Poda para manejo de sombra.

El manejo de la sombra se realiza previamente al inicio de las lluvias, con el fin de ventilar la plantación e incrementar el aprovechamiento de luz. Los tipos de poda se realizan en función de la edad de los árboles.

En la edad juvenil, se inicia la poda de ramas bajas laterales, para estimular el crecimiento vertical y fortalecimiento del fuste, de 3 a 6 m; y, a partir de allí, la copa necesaria.

En la transición entre la edad juvenil y madura, se podan las ramas de la copa para estimular el crecimiento lateral (efecto sombrilla). Cuando se entrecruzan las ramas de un árbol maduro, se realiza un raleo de las ramas.

La altura adecuada de la sombra debe ser de 4 a 5 m sobre la plataforma o la altura del cafetal. Dicho de otra manera, el primer piso del árbol para la sombra debe estar, como mínimo, a tres veces la altura del árbol de café; por ejemplo, si el café mide 1,5 m, el primer piso del árbol debe estar a 4,5 m (Figura 62).

Posteriormente, debe efectuarse la poda de “mantenimiento o aclareo” por lo menos una vez al año para permitir la entrada de luz y garantizar una adecuada distribución de la planta en el cafetal, que se orientará a descubrir el centro de copa, si la altura del árbol lo permite.

Figura 62

Altura de la sombra de A. nepalensis en asocio con café





Capítulo

9

Aprovechamiento

APROVECHAMIENTO

Nota. Productos madereros, productos no madereros y servicios ambientales de *A. nepalensis*.

El presente capítulo se estructuró fundamentado de la experiencia obtenida a lo largo de 32 años, durante los cuales se han desarrollado dos ciclos silvícolas completos (propagación-plantación-manejo-aprovechamiento) de *A. nepalensis*. La experiencia fue sistematizada en el marco de dos proyectos desarrollados por la carrera de Ingeniería Forestal, de la Universidad Técnica del Norte: investigación y vinculación con la comunidad. En el primero se estudió el ciclo silvícola, y en el segundo, la cadena de valor de la madera, lo cual permitió identificar aprendizajes, que fueron la base para construir un nuevo conocimiento sobre *A. nepalensis*.

9.1. Hacia un manejo de uso múltiple de *A. nepalensis*

A. nepalensis es una especie que por sus características productivas y reproductivas es propicia para un manejo forestal de uso múltiple (MUM), que se define como el manejo deliberado de una especie en un área particular, durante un tiempo dado, para la obtención de varios bienes y servicios (FAO, 2013).

A. nepalensis es una especie multiuso y multipropósito, puesto que genera productos madereros, productos forestales no madereros (PFNM) y servicios ambientales. Entre los principales productos madereros están madera rolliza y aserrada, a partir de las cuales se elaboran varios subproductos. En los no madereros, las semillas que son los productos más representativos, con usos medicinales y tintes que se extraen de la corteza. Entre los servicios ambientales constan la sombra, fijación de carbono, fijación de nitrógeno, conservación y mejoramiento del suelo, mediante el aporte de materia orgánica que proviene de la hojarasca.

9.2. Productos madereros

La madera, en diferentes presentaciones y usos, es el producto sobresaliente que aporta *A. nepalensis*. La cantidad de madera que se obtiene depende de los tratamientos silviculturales aplicados; la calidad depende de las técnicas utilizadas en el aprovechamiento y transformación, todo lo cual determina las características de la madera, que son determinantes en los procesos de comercialización y mercadeo.

9.2.1. Aprovechamiento de la madera de *A. nepalensis*

El aprovechamiento es un sistema y, como tal, comprende un grupo de componentes que, unidos e interrelacionados, contribuyen a lograr una actividad sostenible.

Para el caso de *A. nepalensis*, las relaciones se dan entre el talento humano-maquinaria y herramientas-árboles, todo lo cual lleva a cosechar madera aserrada (Figura 63) o rolliza (Figura 64). El sistema de cosecha utilizado para *A. nepalensis* tiene tres componentes secuenciales: planificación, operaciones y transporte.

Figura 63

*Aprovechamiento de madera aserrada en plantación de *A. nepalensis**



9.2.1.1. Planificación.

Lo ideal en la planificación del aprovechamiento forestal es contar con un mercado seguro para los productos y subproductos madereros o no madereros, objeto de cosecha; el mercado es determinante en la selección del tipo de sistema de aprovechamiento, volumen, calidad de madera y, en especial del diámetro de corta.

No obstante, la situación socioeconómica de una gran mayoría de agricultores que plantaron *A. nepalensis* los obliga a comercializar sus árboles, aun cuando no hayan alcanzado las dimensiones adecuadas, ya sea desde el punto de vista biológico (turno biológico de corta) o económico, lo cual no permite obtener un conveniente margen de utilidad, situación que lleva a desmotivar la inversión en futuros proyectos forestales.

Sea cualquiera el caso, el proceso de planificación parte de un inventario previo por el cual se conocerá, la superficie que pueda utilizarse, el potencial rendimiento volumétrico de la plantación y otros aspectos relacionados, tanto con la masa forestal como con las técnicas de aprovechamiento, todo lo cual se recoge en un documento que, bajo la norma ecuatoriana para el efecto, se conoce como plan de corta. Los factores condicionantes de la planificación son intrínsecos y extrínsecos.

9.2.1.1.1. Factores intrínsecos.

Los factores intrínsecos que se toman en cuenta son propios de la masa forestal; los considerados para el caso de *A. nepalensis*

comprenden los sistemas de aprovechamiento, diámetro de corta y red de caminos.

Sistemas de aprovechamiento

Los tres sistemas de aprovechamiento conocidos en el Ecuador y otras partes del mundo son: sistema de árboles completos, sistema de fustes enteros y sistema de madera corta; de estos, el de mayor uso en el aprovechamiento maderero de *A. nepalensis* es el sistema de madera corta, que consiste en la extracción de la madera en forma de trozas, entre 2,5 y 3,0 m de longitud, de acuerdo con los requerimientos del mercado.

Se utiliza en menor proporción el sistema de fustes enteros, durante el cual se extrae la madera sin más preparación que su desramado y despunte. Este sistema se aplica sobre todo cuando la madera es de diámetros pequeños y medianos y, tiene como fin, usos locales en construcción de viviendas (pingos para apuntalar lozas) o infraestructura agropecuaria.

Figura 64

Aprovechamiento de fustes enteros de A. nepalensis con diámetros medianos



Diámetro de corta

El principal indicador utilizado para realizar el aprovechamiento de la madera de *A. nepalensis* es el diámetro; no obstante, tiene al menos tres diferentes connotaciones que ameritan un análisis detallado: el turno biológico de corta (TBC), el diámetro mínimo de corta (DMC) y el diámetro económico de corta (DEC).

Turno biológico de corta (TBC)

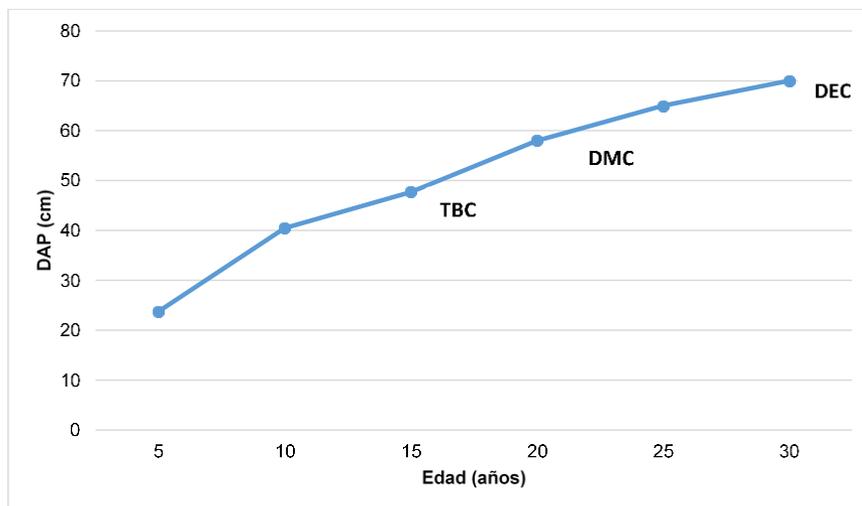
Se entiende por turno biológico de corta (TBC), el período comprendido entre el fin de un aprovechamiento maderero y el inicio de otro, en la misma área o cuartel de aprovechamiento, durante el cual no es posible efectuar intervenciones en el bosque con el fin de extraer madera (MAE, 2006). También se entiende como el momento máximo de incremento leñoso.

El TBC es el resultado de la coincidencia en un punto, a lo largo del tiempo, entre el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA). La coincidencia o cruce de estas dos curvas indica el máximo crecimiento medio de un bosque, y con ello se determina la edad de corta (t) establecida con criterio de máxima renta por especie (máxima producción de $\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$) (Inga, 2011).

Para *A. nepalensis* en el Ecuador, el TBC es a los 15 años, cuando alcanza un DAP de 47,7 cm, la altura total promedio de 22 m y el volumen de 2,95 $\text{m}^3/\text{árbol}$ en volumen total, y 2,10 $\text{m}^3/\text{árbol}$ en volumen comercial (Figura 65).

Figura 65

Diámetro de corta a diferentes edades bajo distintos sistemas de aprovechamiento



Diámetro mínimo de corta (DMC)

El diámetro mínimo de corta (DMC) en el Ecuador se ha establecido en la norma para aprovechamiento de bosques naturales, por la autoridad ambiental –Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)–, en la cual se establece un DMC de 60 cm para especies que no constan en la lista; este es el caso de *A. nepalensis*. La especie se encuentra en algunos ecosistemas, en donde forma parte de bosques secundarios, puesto que fue incorporada con fines de enriquecimiento de este tipo de bosque.

La competencia legal sobre aprovechamiento de plantaciones forestales y sistemas agroforestales productivos con fines comerciales, está a cargo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) donde no se exige DMC, sino solo plan de corta.

Diámetro económico de corta (DEC)

El diámetro económico de corta (DEC), tanto para madera rolliza como aserrada, lo establece el mercado mediante la oferta y la demanda y, en sus diferentes escalas y actores. En el lugar de producción (finca), se comercializa madera rolliza con diámetro entre 10 y 35 cm, que en algunos casos es productos de los raleos, pero en otras son demandas del mercado local.

En microempresas, los carpinteros prefieren diámetros entre 50-60 cm de DAP; consideran que la madera tiene una mejor densidad (superior a 0,31 g/cm³), lo cual facilita la elaboración de muebles e incrementa su durabilidad. El mercado para madera de construcción (pisos, vigas, entre otros) demanda madera con diámetros superiores a 60 cm de DAP.

Red de caminos

La gran mayoría de árboles de *A. nepalensis* se plantaron en predios gestionados por pequeños productores; algunos tienen caminos de acceso a estos predios, que se utilizan como vías de saca de la madera y otros productos y subproductos agropecuarios y silvícolas.

Características de la red de vías de extracción maderera

La red de vías de extracción de madera es terrestre y consta de caminos públicos y privados. Los públicos corresponden a las vías de acceso que han construido las distintas instituciones del Estado, para comunicar comunidades con centros urbanos parroquiales,

cantonales, provinciales y nacionales; se utilizan en el flujo general del transporte mayor de la madera de *A. nepalensis*.

Los caminos privados fueron construidos por los agricultores para acceder a sus predios, en donde se encuentran las plantaciones y sistemas agroforestales establecidos con *A. nepalensis*. Estos caminos se utilizan para el transporte menor de la madera.

9.2.1.1.2. Factores extrínsecos.

Los factores extrínsecos, tomados en cuenta antes, durante y después del aprovechamiento de la madera de *A. nepalensis*, están relacionados con los condicionantes legales; y el uso de equipos y herramientas en todo el proceso, han de ser apropiados a las características óptimas del producto que se desea obtener.

Condicionamientos legales

Están relacionados con el conocimiento y ejecución de los procedimientos legales que se deben realizar para permitir el aprovechamiento y comercialización de la madera de modo legal.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) le compete la emisión de las licencias de aprovechamiento forestal y guías de circulación de productos maderables y no maderables, provenientes de plantaciones forestales y sistemas agroforestales productivos.

Una vez cumplidos los requisitos, los productores deben inscribirse en el registro forestal del Ministerio de Agricultura y

Ganadería para posterior solicitud de las licencias, que son las que posibilitan la movilización de los productos maderables.

Una vez concluido el registro y, para obtener la licencia de aprovechamiento, se debe tener un plan de corta aprobado; el registro volumétrico de los árboles que se van a cortar; la autorización del Gobierno Municipal, en caso de zona urbana; plan de manejo ambiental, aprobado por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, en áreas protegidas, bosques y vegetación protectora, y autorización de la Asamblea General, en caso de tierras comunales.

Uso de equipos y herramientas

El aprovechamiento se realiza utilizando motosierra y, en menor grado, aserraderos portátiles, marco guía, hacha y machete; estos dos últimos, para el derrame o actividades que requieren cortes de ramas o tallos de diámetros pequeños.

La gran mayoría de las actividades de aprovechamiento maderero se realizan utilizando motosierra (Figura 66), puesto que, al estar ubicadas las plantaciones en sitios sin acceso a energía eléctrica, no es posible utilizar motosierras eléctricas con cable; y las motosierras de batería no han sido probadas aún.

Se cuestiona el uso de la motosierra, por la gran cantidad de desperdicio de madera que genera en los diferentes procesos de transformación primaria. Aunque no hay estudios específicos con *A. nepalensis*, varias investigaciones realizadas en el Ecuador, tanto

en plantaciones como en bosque natural, dan cuenta de un desperdicio que oscila entre 47 y 62 % (Gatter y Romero, 2005).

Observaciones en campo confirman el desperdicio de madera en el proceso de transformación de los árboles en pie, a trozas, lo cual es atribuible a los cortes mal realizados por parte de los operadores de motosierras, al astillamiento de los árboles en el momento de la caída y a dimensiones insuficientes, tanto en longitud como en diámetro, lo que exige que los operadores de estas máquinas deben tener habilidad y destreza para cortar y tumbar árboles.

Figura 66

*Uso de motosierra en el aprovechamiento maderero de *A. nepalensis**



Se estima que el desperdicio por cada metro cúbico de madera en rollo procesada de *A. nepalensis* supera el 50 %, situación que amerita un cambio en el nivel tecnológico y, utilizar otro tipo de maquinaria.

En una investigación realizada en procesos de transformación de madera de *Eucalyptus globulus* en Riobamba-Ecuador, se obtuvo, por cada metro cúbico de madera en rollo procesada con sierra circular 0,488 m³; y, utilizando el sistema sierra circular más sierra de cinta, 0,277 m³ de madera aserrada (Guallpa, 2018), lo cual demuestra la diferencia en rendimiento si se utilizan distintas maquinarias. Otra opción es el uso de marco guía.

9.2.1.2. Operaciones.

Corresponde a la ejecución del aprovechamiento y se subdivide en seis etapas: tala, desramado y despunte, troceado, descortezado, aserrado y apilado previo.

9.2.1.2.1. Tala.

Es la primera de una serie de fases que concluyen con la obtención de la troza. La operación también se llama derribo, tumba, volteo y apeo.

La tala tradicional que se practica en forma extensiva durante el aprovechamiento forestal en el país se caracteriza por ser una actividad muy peligrosa, con altos volúmenes de desperdicio y fuertes daños a la masa forestal. Con la tala dirigida se busca reducir

estos efectos; para ello, se asegura contar con personal debidamente capacitado y motivado.

Después de realizar la evaluación del árbol, se define la dirección exacta de caída; hay que tener en cuenta la dirección del viento. Posteriormente, se procede al corte; los dos métodos de corte utilizados son: el normal, para árboles rectos y el de boca ancha, cuando se desea cambiar la dirección de caída.

9.2.1.2.2. Desrame y despunte.

Una gran mayoría de árboles de *A. nepalensis* presentan fustes libres de ramas hasta la altura comercial; por lo tanto, una vez caído el árbol, no se requiere desramar; en este caso, el siguiente paso es separar la copa; esta operación se conoce como despunte.

9.2.1.2.3. Descortezado.

No es una operación común en madera de *A. nepalensis*. Sin embargo, por precautelar las sierras u otro equipo usado en estas operaciones y por cuestiones de acuerdos establecidos entre productor y comprador, se recurre a quitar la corteza de la madera. La corteza es empleada por algunos agricultores como tutores en el cultivo de naranjilla *Solanum quitoense*.

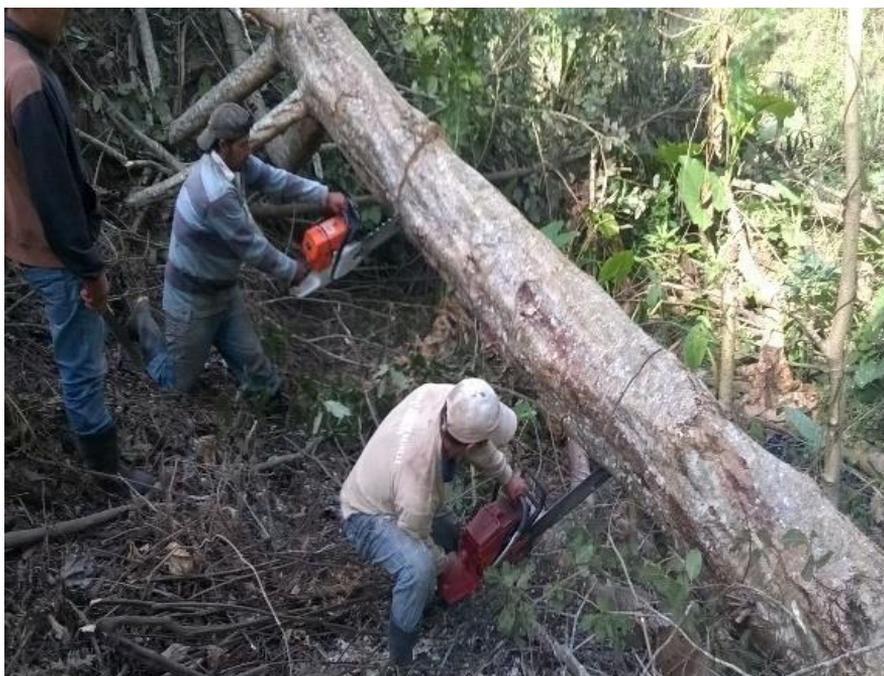
9.2.1.2.4. Troceado.

Esta operación consiste en dividir el fuste del árbol en una o varias trozas de longitud comercial, y tratar de aprovechar de la mejor forma la madera (Figura 67). En primer término, se procede a limpiar

el área contigua al fuste caído para tener mejor visibilidad y así medir y trozar el fuste en longitudes de 2,5 a 3 m, según sean los acuerdos de comercialización que se hayan establecido previamente.

Figura 67

*Troceado de árbol de *A. nepalensis**



Nota. Adaptado de Mediavilla (2016).

9.2.1.2.5. Aserrado.

El aserrado consiste en sacar del árbol, piezas de diferentes tamaños en función del diámetro de la troza, lo que depende de la experticia del aserrador. Se presenta un listado del tipo de piezas que se obtienen en el aprovechamiento de la madera de *A. nepalensis* (Tabla 14).

Tabla 14*Piezas y dimensiones obtenidas de madera de A. nepalensis*

Tipo de pieza	Dimensiones
Tablón	25cm* x 5 cm** x 220 cm***
Tabla	25 cm x 2,5 cm x 220 cm
Doble piezas	25 cm x 10 cm x 220 cm
Correas	10 cm x 5 cm x 220 cm
Varengas	15 cm x 5 cm x 220 cm

* corresponde al ancho de la pieza

** corresponde al espesor de la pieza

*** corresponde a longitud (largo) de la pieza.

Un aspecto que influye en el rendimiento maderero en los procesos de transformación de madera rolliza a aserrada, son los diámetros de cada troza y, por ende, el volumen de esta, puesto que se incrementa el tiempo de aserrado a medida que aumenta el volumen de madera. Guallpa (2018) determinó que el tiempo total para aserrar 2,36 m³, tomó valores de 85, 12, 104,5 y 161,38 minutos, correspondientes a las categorías diamétricas 14-25, 25,1-35 y 35,1-45 cm, respectivamente.

9.2.1.2.6. Apilado previo.

Se conoce por este nombre por cuanto constituye la fase previa al desembosque; consiste en agrupar la madera y ponerla al alcance de los medios de saca, generalmente formando pilas o dispuestas las trozas en hileras (Figura 68). El objetivo es evitar pérdidas de tiempo a las personas, animales o maquinaria, por maniobras complejas u operaciones de carga incompletas, además de evitar pérdidas de madera. Se realiza a distancia no muy larga, de forma manual por uno o dos operarios.

Figura 68

Apilado previo de madera de A. nepalensis



9.2.1.3. Transporte.

El transporte se divide en dos procesos: menor y mayor.

9.2.1.3.1. Transporte menor.

Comprende el traslado de productos forestales (trozas o productos semielaborados) desde el lugar de apeo o apilado previo hasta un patio sobre una vía principal de acceso denominado centro de acopio (camino o carretera pública), donde se utilizarán transformados o comercializados. Esta actividad es conocida también

como desembosque, saca o maderero. Para este tipo de transporte de madera de *A. nepalensis* se utiliza la tracción humana, animal y mecánica.

Tracción humana

Conocida también como transporte manual; está limitada por la distancia de transporte, las condiciones topográficas y las dimensiones de la madera que se va a movilizar. Algunas veces se emplea fuerza humana para trasladar desde el sitio de corta de *A. nepalensis*, piezas de poca dimensión, hasta el punto de amarre a las mulas u otro animal que se utilice (Figura 69). En ningún caso se transporta a distancias mayores de 50 metros, tanto por razones de ergonómicas y fisiológicas de quienes efectúan ese trabajo como por razones económicas.

Figura 69

Transporte manual de madera aserrada de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Mediavilla (2016).

Tracción animal

Los animales que más se adaptan en los sitios con *A. nepalensis* son caballos y mulas, y, en ocasiones, asnos. Estos animales presentan una característica común cuando se emplean como fuerza de tiro; su capacidad de arrastre disminuye cuando aumenta la velocidad o la distancia de recorrido (Figura 70).

La extracción con animales domésticos tiene ventaja por los bajos costos de la actividad, y posibilita la utilización de mano de obra poco especializada. Desde el punto de vista ambiental, su empleo es de bajo impacto, porque el daño provocado al suelo es reducido.

Figura 70

Acarreo de madera aserrada de A. nepalensis en acémilas desde el sitio de aprovechamiento al de acopio



Nota. Adaptado de Mediavilla (2016).

Tracción mecánica

Una técnica que se ha practicado en otras regiones del Ecuador es la extracción de madera mediante cables aéreos, dadas las fuertes pendientes donde se encuentra una cantidad importante de plantaciones y sistemas agroforestales *A. nepalensis* y, la poca accesibilidad, puesto que no todas las plantaciones cuentan con caminos para la extracción de la madera; se considera el uso de cables aéreos una opción técnica válida para aprovechar mejor los productos y subproductos madereros.

9.2.1.3.2. Transporte mayor.

Es el traslado de la madera rolliza o aserrada desde el sitio donde termina el transporte menor hasta los sitios de procesamiento y comercialización. El transporte mayor se hace a distancias largas y es mecanizado; el medio mayormente utilizado son vehículos de dos ejes (Figura 71) y, cuando la carga es de mayor volumen y el tipo de carretera lo permite, se utilizan camiones de tres o más ejes.

Figura 71

Transporte mayor de madera aserrada de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Mediavilla (2016).

9.2.2. Características de la madera de *A. nepalensis*

La madera que se obtiene de *A. nepalensis* es aserrada y en rollo. La madera aserrada es el principal producto que se obtiene de la especie. Se presentan las características físicas, químicas, de trabajabilidad, durabilidad natural, secado, defectos y fotodegradación.

9.2.2.1. Propiedades físicas de la madera.

Las propiedades físicas analizadas son: contenido de humedad, densidad, contracción volumétrica total y contracción relación tangencial/radial.

9.2.2.1.1. Contenido de humedad.

El contenido de humedad (CH) influye en la capacidad mecánica de la madera; a menor CH, baja el punto de saturación de las fibras (PSF); en general, aumenta la capacidad mecánica y resistencia de la madera, tanto en flexión estática como en compresión paralela y compresión perpendicular (Meneses, 2011).

El CH de la madera de *A. nepalensis* en estado seco al horno es de 115,39 % a los 10 años de edad; se puede considerar alto si se compara con otros estudios de la misma especie realizados en Hawai, donde se reportó un contenido de humedad de 103 % a los 26 años; las diferencias obedecen a las distintas edades, puesto que, a mayor edad, tienen mayor lignificación; en consecuencia, poseen menor cantidad de agua.

9.2.2.1.2. Densidad.

La densidad es el coeficiente entre la masa y el volumen de la madera que varía según la humedad, es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece y se encuentra muy relacionada con las propiedades mecánicas (Díaz, 2005).

La densidad básica de la madera de *A. nepalensis* es de 0,31 gr/cm³; se encuentra en el rango de las maderas tipo “D”, la cual corresponde a una madera blanda.

9.2.2.1.3. Contracción volumétrica total.

La contracción es una propiedad en el cambio de volumen y dimensiones de la madera causadas por la alteración del contenido de humedad (Flores y Muñoz, 1989). Se expresa en porcentaje (Pozo y Terán, 1997); en otras palabras, la madera, al secarse, pierde dimensión y volumen; la pérdida de humedad es directamente proporcional a la disminución del volumen. La contracción se produce cuando la madera se seca por debajo del PSF y disminuye el volumen.

La contracción volumétrica total de la madera de *A. nepalensis* es de 10,91 %. A pesar de la densidad y la contracción, esta madera tiene una buena estabilidad dimensional.

9.2.2.1.4. Contracción relación tangencial/radial.

Una vez realizado el cálculo de la relación de las contracciones tangencial y radial de la madera de *A. nepalensis*, se obtuvo una media de 2,63 %.

9.2.2.2. Propiedades químicas de la madera.

Los elementos químicos principales de la madera son: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, en cantidades muy pequeñas. El carbono, el hidrógeno y la combinación de oxígeno sirven para formar los componentes orgánicos principales de la sustancia de madera, tales como: celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos componentes al ser sometidos al laboratorio con el uso de solventes y técnicas específicas y relacionarlos entre sí, forman varios componentes químicos (Paz, 2008).

Las cenizas forman parte de las propiedades químicas. El análisis de las cenizas en madera de *A. nepalensis* registró, para la albura, 0,64 %; para el duramen, 0,73 %, con un promedio total de 0,68 %.

9.2.2.3. Propiedades de trabajabilidad.

Las propiedades de trabajabilidad que han sido objeto de estudio en el Ecuador son: cepillado, lijado, moldurado, taladrado, torneado y tallado.

9.2.2.3.1. Cepillado.

En el estudio del cepillado, la velocidad de alimentación de la máquina cepilladora fue de 8,60 m/min para los cortes tangencial, radial y oblicuo, a favor y en contra del grano.

En la dirección a favor del grano, el defecto en el cepillado se evidencia en la cara radial, tangencial y oblicua. El mayor defecto se registró en el grano vellosos, con grado 3; los menores valores fueron en el grano arrancado, con grado 1. En la dirección en contra del grano, el defecto en el cepillado presenta resultados similares a los observados en el ensayo a favor del grano. Por lo antes mencionado, el comportamiento de la madera de *A. nepalensis* es excelente en todas sus caras, en las direcciones evaluadas (Mediavilla, 2016).

9.2.2.3.2. Lijado.

En el estudio con lija número 60, a favor del grano, en grano arrancado y levantado se encuentra en el grado 2; en el grano vellosos, con grado 3; en cambio, en contra del grano, se evidencian resultados similares a los determinados en el ensayo a favor del grano.

En el lijado con lija número 100, a favor del grano, en grano arrancado, levantado y vellosos se encuentra en grado 1, lo que indica que presenta un excelente comportamiento. El ensayo con lija número 100, en contra del grano, tanto en cara radial, tangencial y oblicua, se evidencian resultados similares a los registrados en el ensayo a favor del grano (Mediavilla, 2016).

9.2.2.3.3. Moldurado.

En el defecto a favor del grano, se observa mayor incidencia en los granos arrancados y vellosos, en grado 2; también se presentó grano arrancado, en grado 1; a base de estos resultados, se puede afirmar que el moldurado va de excelente a bueno; en cambio, los defectos en contra del grano son similares a los determinados en el ensayo a favor del grano (Mediavilla, 2016).

9.2.2.3.4. Taladrado.

La investigación del taladrado en el orificio de entrada no registró defectos; por lo tanto, la madera no presenta complicación en cuanto a este maquinado; en el orificio de salida se registraron defectos, tanto en grano arrancado como en levantado, con grado 3; el grano vellosos representa grado 2 de afectación; cabe recalcar que en el orificio de salida todas las maderas tienden a presentar defectos, por la acción de la apertura del orificio (Mediavilla, 2016).

9.2.2.3.5. Torneado.

En el torneado se evidencian mayores defectos en grano arrancado y levantado, con grado 3; en el grano vellosos, con grado 2 (Figura 72); es preciso mencionar que uno de los factores que inciden en esto, sucede porque las herramientas no fueron las indicadas; pero, al realizar el lijado, se eliminan fácilmente los defectos (Mediavilla, 2016).

Figura 72

Torneado de madera de A. nepalensis



Nota. Adaptado de Mediavilla (2016).

9.2.2.3.6. Tallado.

Para el ensayo se contó con expertos de Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes, de San Antonio de Ibarra, quienes califican a la madera de acuerdo con el tipo de tallado y el grado de afectación en grano arrancado, levantado, y vellosos.

En estilo matriz y volumen, se encuentra en grado 2; el estilizado y relieve, en grado 1; el rango va de bueno a excelente. Los artesanos recomiendan un 100 % de madera para fabricar muebles lineales; un 80 %, muebles clásicos, y un 60 % para artesanías en general (Mediavilla, 2016).

En resumen, en los defectos a favor del grano, se determinó que la trabajabilidad de la madera de *A. nepalensis* presenta calificaciones de excelente a bueno, puesto que muestra defectos hasta grado 3, en todos los tipos de grano.

Los defectos en contra del grano presentan calificaciones de bueno hasta grado 3, en todos los tipos de granos. Si bien el comportamiento es relativamente inferior a los ensayos a favor del grano, se puede afirmar que la madera es fácil de trabajar; además, conviene recordar que la madera presenta un mejor comportamiento en todos los ensayos, cuando se encuentra en estado seco (Mediavilla, 2016).

9.2.2.4. Durabilidad natural de la madera.

Es la resistencia que tiene la madera para soportar los agentes biológicos y abióticos que causan degradación (Tapia, 2010). En este sentido, Bobadilla et al. (2005) concuerdan en que la durabilidad es la propiedad de la madera de resistir sin la aplicación de ningún tratamiento químico a los hongos e insectos xilófagos. Asimismo, Bobadilla (2004) menciona que la durabilidad se mide por el tiempo que puede mantener las propiedades mecánicas cuando se encuentra en contacto con el suelo y agentes biológicos de deterioro.

9.2.2.4.1. Contenido de humedad (CH) de la madera.

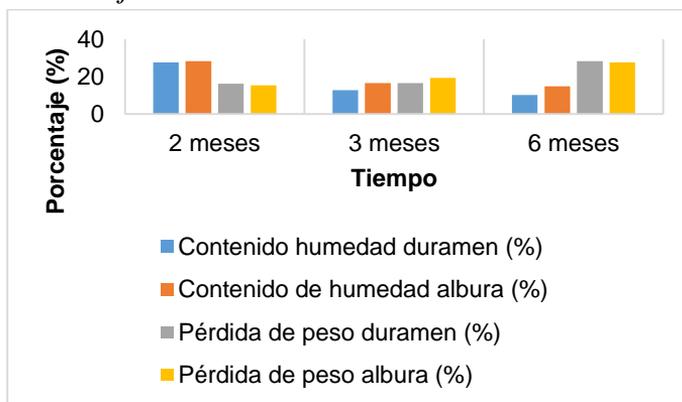
La madera de *A. nepalensis* en peso verde, tiene un contenido de humedad de 110 %, lo cual indica que se está frente a una especie con abundante contenido de agua (Mediavilla, 2016).

En los procesos de análisis de durabilidad de la madera expuesta a las condiciones naturales, el CH disminuye a medida que transcurre el tiempo. En los dos primeros meses contabilizados a partir de su procesamiento, tanto en duramen como en albura, este CH es superior al 20 %; posteriormente, a los tres meses es del 16,57 % para el duramen y 12,71 % para la albura; a los seis meses llega a ser del 14,91 % en el duramen y 10,19 % en la albura (Figura 73).

La precipitación, temperatura y el número de horas de luz influyen en el contenido de humedad de la madera; así se verificó durante el estudio realizado por Ruiz (2017), cuando la precipitación en el mes de agosto causó el incremento del contenido de humedad (CH) en la madera, con valores mayores del 20 %, los cuales son propicios para proliferar organismos xilófagos; la heliofanía y las bajas precipitaciones de los meses de septiembre y octubre influyeron en el aumento de cantidad de horas de radiación solar que recibieron las probetas, lo que modificó el contenido de humedad y degradó el color en la madera (Ruiz, 2017).

Figura 73

Contenido de humedad y pérdida de peso de la madera de A. nepalensis bajo condiciones naturales



Nota. Adaptado de Ruiz (2017).

En su estudio, Yépez (2021) determinó un CH promedio del 33,40 %, es decir, se perdió un 66 a 60 % de CH desde su estado verde, lo que demuestra la pérdida de gran cantidad de agua, lo cual ocasiona que la madera esté cerca del punto de saturación de la fibra. El sitio de la investigación presenta una temperatura promedio de 17,06 °C; 73,22 % de humedad relativa y 1,67 mm de precipitación.

El contenido de humedad indica que la estructura microanatómica de *Alnus nepalensis* influye altamente en su contenido de humedad final; libera más agua capilar y llega a contenidos de humedad muy bajos. El tipo de corte de la madera altera significativamente sus propiedades, en especial su contenido de humedad, lo cual responde a la anisotropía de la madera. En el corte radial, el contenido de humedad es del 30,78 %; en el tangencial, 33,56 %, y en oblicuo 35,87 % (Yépez, 2021).

9.2.2.4.2. Pérdida de peso (Pp) de la madera.

La pérdida de peso de la madera de *A. nepalensis* sigue una tendencia inversamente proporcional al contenido de humedad: a medida que el tiempo transcurre, el CH disminuye, y el peso perdido se incrementa. A los dos meses, la pérdida de peso fue del 16,26 % en duramen, y 15,39 % en albura; a los tres meses, en el duramen se pierde el 16,52 %; en albura, el 19,26 %; a los seis meses, el duramen pierde 28,32 %, lo cual representa 14,37 g; en albura pierde el 27,60 %, que significa 14,74 g.

La madera se degradó en el 27,97 %, lo que corresponde a 51,00 g en promedio de los dos orígenes; sin embargo, fue en el origen del duramen donde presentó mayor degradación.

La pudrición que se observó fue de dos tipos: blanca y blanda. Estos resultados se deben a que en el mes de agosto se registró una precipitación de 124,70 mm, lo que incrementó el contenido de humedad al 27,96 %. Esta cifra, según Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT, 2012) es un valor propicio para la proliferación de hongos. En condiciones húmedas, la madera se deteriora y es susceptible a la decoloración por oxidación, incremento de savia y manchas ocasionadas por hongos.

No se registraron valores más altos de degradación, ya que factores como: pH básico del suelo; temperatura promedio de 17,47 °C; nutrientes en el suelo: tipo fósforo, del 176,83 ppm; potasio, 1,69 ppm, y magnesio, 6,87 ppm, no tienen valores óptimos para el desarrollo de hongos. Si bien, la mayoría de las variables analizadas, a excepción del nitrógeno y manganeso, presentan características no aptas para el óptimo desarrollo de hongos durante el periodo de investigación, se observó su incidencia en el deterioro de la madera.

La madera de *Alnus nepalensis* se clasifica como clase C; tiene un grado moderadamente resistente, tanto como albura y duramen.

El corte de la madera influye en la pérdida de peso. En el corte radial, los vasos y radios medulares quedan expuestos, y en estas estructuras se encuentra el agua libre. En el corte tangencial, los vasos son parcialmente expuestos, lo que disminuye la pérdida de agua y, por ende, la Pp.

Finalmente, en el corte oblicuo al tratarse de un corte que no es tangencial ni radial, un porcentaje menor de vasos están expuestos y

otros no, lo cual se evidenció en los resultados obtenidos. En un estudio, Yépez (2021) determinó que la pérdida de peso en el corte radial fue de 805 g; en el tangencial 801 g, y en el oblicuo, 790 g.

9.2.2.5. Secado de la madera.

Yépez (2021) realizó un estudio del secado de la madera de *A. nepalensis*, para el cual utilizó métodos de secado a la intemperie (Figura 74), bajo cubierta y en cámara solar; la duración del secado en el primer método fue de 84 días, en el segundo 77 días y en el tercero, 56 días.

Figura 74

Secado a la intemperie de madera de A. nepalensis en un medio rural



El método menos eficiente en duración de secado fue a la intemperie (Figura 73). El más adecuado es la cámara solar, debido

al período de duración de secado, que fue menor con respecto a los otros dos métodos.

El método de cámara solar tiene, además, la ventaja de secar la madera en menos tiempo. El contenido de humedad en este método fue, en general, del 30 %, es decir, que la estructura de la madera se encontraba sin agua libre. En este método se generaron, además, menos defectos; si bien el valor de instalación es alto en comparación con los otros métodos, los indicadores financieros dan cifras positivas, es decir, es económicamente viable. Lo indicado da la posibilidad de aseverar que este método es el apto para secar tablillas de *Alnus nepalensis* (Yépez, 2021).

9.2.2.6. Defectos de la madera.

Por lo general, los defectos se analizan después de realizar el secado, luego de lo cual se evalúan dichos defectos. Yépez (2021) en su estudio de 270 tablillas de madera de *A. nepalensis* cuyas dimensiones fueron 0,025 x 0,10 x 1,10 m, señala dos defectos: torcedura de las tablillas en un 94 %, y encorvadura en un 6 %. La presencia de torceduras se atribuye al grosor de los macroporos y radios medulares.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2011) indica que las maderas clasificadas con densidades tipo-D, y a su vez tienen altos contenidos de humedad en verde, son propensas a generar problemas (defectos) en el periodo de secado, lo cual ocurre con la madera de *A. nepalensis*.

Los niveles de intensidad de los defectos de la madera de esta especie, basada en la Norma de Chile (Instituto Nacional de Normalización [INN], 1972), muestran un 60 %, con alabeo intenso; 30 %, con alabeo leve-fuerte, y 10 % con alabeo leve. El porcentaje mayor de intensidad tipo-D se debió a la presencia de cortes mixtos (oblicuos), así como también al espesor y distancia de los separadores en el momento de realizar el estudio (Yépez, 2021).

El análisis de la interacción entre el grado de defectos, método de secado y tipo de corte de la madera utilizado, muestra la presencia de menores defectos en el secado con cámara solar, y cortes oblicuos y tangenciales, lo cual se puede atribuir a las condiciones controladas de la cámara de secado, como lo mencionan Todd y Mills (2011). Los secadores solares minimizan la presencia de defectos, así como su intensidad. Por otra parte, los demás tratamientos presentaron rangos de intensidad muy altos, es decir, que las condiciones de secado, tanto bajo cubierta como a la intemperie, no son adecuadas para la especie, lo que se puede atribuir a la lluvia vertical y en caso de que se haga bajo cubierta (Yépez, 2021).

9.2.2.7. Fotodegradación.

Al evaluar la fotodegradación, se registró el cambio de color en duramen y albura. En la madera de *Alnus nepalensis*, fue de amarillo pálido blanco a pálido rojo y gris rosado. Existe una influencia de la cantidad de radiación solar que llegó al sitio donde se realizó el ensayo en la ciudad de Ibarra, que es de 684,6 W/m². Un aspecto que se debe tomar en cuenta en los cambios de color que se provocaron en las probetas, es la tendencia a depreciar la madera en valor económico y estético (Ruiz, 2017).

9.2.3. Usos de productos y subproductos madereros

La madera en rollo es poco utilizada; generalmente, se usa en postes para cercas y, eventualmente, en puntales para sostener construcciones de viviendas o infraestructura agropecuaria, como corrales para animales menores, y tutores en la producción de especies frutales, como granadilla *Passiflora ligularis* y naranjilla *Solanum quitoense* (Figura 75). Se utiliza, por lo general, madera con diámetros pequeños, entre 5 y 10 cm, productos de podas, raleos o del desrame después del aprovechamiento para obtener madera aserrada de dimensiones mayores en diámetro.

Figura 75

Postes (tutores) de *A. nepalensis* utilizados en cultivos de naranjilla *Solanum quitoense*



En cuanto a la materia prima conocida como madera serrada y en función de estudios de las propiedades físicas, trabajabilidad y el ensayo de tallado, se determinaron los usos probables de la madera aserrada en el Ecuador, que son: contrachapado, desenrollo, tallados (relieve, volumen, estilizado matriz), artesanías en general, cajonería y muebles.

En la construcción de viviendas rurales por ser madera ligera, suave, tener un grano uniforme, ser fácil de aserrar y acabado a mano o máquina, se utiliza como parte de la infraestructura interior de estas viviendas (Figura 76).

Figura 76

Madera aserrada de A. nepalensis utilizada en la infraestructura de una edificación rural en la comunidad La Magdalena (Cotacachi, Imbabura).



En el ámbito mundial, la literatura agrícola da cuenta de varios usos: leña y carbón, por su poder calorífico de 18,230 kj/kg; la madera es apropiada para cajas de fósforos, así como para papel periódico, puesto que la fibra es adecuada para ello, con un rendimiento de 47,4 % de pulpa. Se utiliza la madera en postes, carpintería general, fabricación de muebles de bajo costo y tornería. También se utiliza como palos enganchados en puentes de cuerda (Orwa et al., 2009).

9.3. Productos forestales no madereros (PFNM)

A. *nepalensis* aporta con varios productos forestales categorizados como no madereros, que se generan en los diferentes órganos de la planta, tales como: corteza, hojas y semillas. Entre los principales PFNM constan la medicina natural local, tintes, taninos, forraje, abono orgánico y semillas.

9.3.1. Medicina natural

La corteza se utiliza en medicina local; el zumo de la corteza se hierve y el líquido gelatinoso que se obtiene, se aplica a las quemaduras. Cairnis (2004) afirma que en la provincia de Yunnan, China, el *Alnus nepalensis* D. Don es usado como tanino de medicamentos para diarrea, hidropesía, neumonía, enfermedad de la laca y huesos rotos.

También la cocción de la corteza permite obtener un potente antiinflamatorio, que combate anginas y otras inflamaciones de garganta. Las hojas también se utilizan como diurético para reducir la hinchazón en las piernas (Duke, 1983).

9.3.2. Tintes naturales

La corteza tiene propiedades para el bronceado y teñido, pues da un color marrón a las prendas que reciben este tipo de tintes naturales. Las hojas también constituyen fuente de tintes naturales, ya que dan colores amarillo y verde en las fibras que son objeto de tintura.

9.3.3. Taninos

La corteza tiene taninos que se utilizan para el curtido de pieles. En el teñido de fibras vegetales, los taninos juegan un importante papel como mordientes (fijadores del color); se utilizan en fibras de *Furcraea andina*. Little (1983) y Duke (1983) señalan que la corteza contiene 7 % de tanino.

9.3.4. Forraje

El follaje es de bajo a moderado, como valor para forraje. Las ovejas, cabras y ganado bovino consumen las hojas maduras.

9.3.5. Abono orgánico

Existen tres fuentes de abonos orgánicos: hojarasca, biomasa generada después de podas, raleos o aprovechamiento final, y los residuos después del proceso de transformación primaria de la madera, conocidos como aserrín o viruta (Figura 77).

Figura 77

Aserrín generado en el proceso de transformación primaria de madera de A. nepalensis se utilizará como abono orgánico



9.3.6. Semillas

Las semillas se utilizan para la reproducción sexual de la especie y se comercializan entre agricultores, quienes obtienen un ingreso adicional a la venta de madera.

9.4. Servicios ambientales

Los servicios ambientales también se conocen como servicios del ecosistema o servicios ecosistémicos. La definición más empleada y aceptada es la propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millenium Assessment, 2005; Millenium Assessment, 2007); los beneficios que aportan los ecosistemas a los seres humanos para realizarse en todas sus facetas.

Un estudio de cuatro años, que involucró a más de 1 300 científicos del mundo, concluye en agrupar los servicios de ecosistemas en cuatro categorías amplias: regulación, apoyo, cultural y aprovisionamiento.

9.4.1. Servicios de regulación

Los servicios de regulación de *A. nepalensis* están relacionados con el clima, suelo y la polinización.

9.4.1.1. Clima.

A. nepalensis aporta al macroclima (del planeta) con la fijación de carbono y su almacenamiento, en especial en la madera, la cual, al convertirse en muebles u otros productos, lo mantendrá atrapado por algunos años, sin que se libere nuevamente a la atmósfera, sea por combustión o por descomposición orgánica.

Al microclima (del predio) contribuye con sombra en sistemas agroforestales, donde se asocia con cultivos agrícolas perennes que la requieren; es el caso del café *Coffe arabica*. También se ha utilizado como un árbol de sombra para *Cinchona officianalis* y *Eletaria subulatum*. Un análisis más detallado de los aportes de *A. nepalensis* se señalaron en el capítulo 3 sobre ecología.

9.4.1.2. Suelo.

Los servicios que brinda al suelo son: prevención de erosión y deslizamientos de tierras, y rehabilitación de tierras degradadas.

9.4.1.2.1. Prevención de erosión y deslizamientos de tierra.

En zonas montañosas como las que existen en el Ecuador, los deslizamientos de tierra son comunes; conocidos como derrumbes, afectan permanentemente y de manera particular en época de lluvias, a varios sectores, entre estos la agricultura, el transporte y las cuencas hidrográficas.

Aliso de Nepal se ha plantado para mejorar la estabilidad de las laderas susceptibles de erosión y deslizamientos de tierra. El servicio ambiental específico que brinda la especie es la estabilidad que da a las laderas que tienden a resbalar y erosionar. La técnica practicada en otros países es la dispersión de sus semillas sobre el área de deslizamientos; por su rápido crecimiento permite cubrir un área en un tiempo relativamente corto (Duke, 1983).

9.4.1.2.2. Rehabilitación de tierras degradadas.

Lamprecht (1990) afirma que *Alnus nepalensis* es pionera de áreas degradadas. Por su rápido crecimiento es considerada de importancia biológica para la recuperación de los suelos. Se ha utilizado para la recuperación de tierras en agricultura migratoria, donde por lo general crece como pionero en hábitats degradados con suelos de baja fertilidad; específicamente cumple el rol de recuperar la fertilidad natural del suelo, en la fase de barbecho. Además, tiene la ventaja de tolerar una amplia variedad de tipos de suelo y crecer bien en zonas muy húmedas. También se plantan en sitios de despojos de minas para recuperar la tierra.

9.4.1.3. Polinización.

Alrededor del 90 % de áreas donde se planta *A. nepalensis* corresponden a sistemas agroforestales, en los cuales la especie se asocia con cultivos agrícolas que requieren de agentes polinizadores. El aliso de Nepal es el principal hospedero de polinizadores de cultivos agrícolas, entre los cuales se han encontrados insectos como abejas y también aves.

9.4.2. Servicios de apoyo o soporte

Estos servicios ambientales son necesarios para la labor de todos los demás servicios de ecosistemas. Entre los más visibles que aporta *A. nepalensis* están la producción primaria de biomasa, hábitat de especies y reciclaje de nutrientes. Los dos primeros se analizan en el capítulo 3, sobre ecología.

9.4.2.1. Reciclaje de nutrientes.

El manejo silvicultural (poda y raleo) de plantaciones con *A. nepalensis* juega un papel valioso en el reciclaje de nutrientes. Durante el desarrollo de la plantación hay una acumulación gradual de hojarasca (*A. nepalensis* es caducifolia) en el piso de la plantación, a lo que se agrega la biomasa procedente de las podas y raleos, todo lo cual constituye la materia orgánica de la plantación.

Se reciclan cantidades considerables de nutrientes mediante la hojarasca. Los árboles pueden producir 3 - 6 toneladas/ha de hojas anualmente (Orwa et al., 2009).

La materia orgánica al mineralizarse, aporta con nutrientes que son aprovechados por las raíces superficiales de la especie. Los sitios donde se desarrolla adecuadamente el aliso de Nepal en el Ecuador presentan características idóneas para la descomposición, relativamente rápida de la materia orgánica: temperatura hasta de 25 °C y precipitación hasta de 3 000 mm/año.

Otro espacio de reciclaje son los sistemas silvopastoriles donde se ha establecido con éxito *A. nepalensis*. Pezo e Ibrahim (1999) señalan que el reciclaje de nutrimentos en los sistemas silvopastoriles ocurre principalmente cuando se da la muerte de las raíces, la senescencia y caída natural de la biomasa aérea, tanto de árboles, como de las pasturas. También se da por medio del material podado o raleado que queda en el campo y las excreciones que depositan los animales en los potreros.

9.4.3. Servicios culturales

La población de Intag, que se relaciona directamente con *A. nepalensis*, ha adquirido un sentimiento de pertenencia de ella, puesto que la adaptó y adoptó a su contexto biofísico y cultural. De ello se desprenden dos servicios: el paisaje y turismo y el descubrimiento científico.

9.4.3.1. Paisaje y turismo.

La presencia de *A. nepalensis* cambió para bien el paisaje en la zona de Intag; pasó de un escenario degradado a un paisaje verde con rasgos magníficos, lo cual incentiva actividades recreativas y

turísticas, en particular un tipo de turismo científico con concurrencia de docentes, investigadores, estudiantes de Universidades y ONGs.

9.4.3.2. Descubrimiento científico.

Otro servicio ambiental, cultural, es el descubrimiento (conocimiento) científico logrado a partir de 25 investigaciones de pregrado, desarrolladas por estudiantes (hoy ingenieros forestales) de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte (UTN), a lo cual hay que sumar un proyecto de investigación y otro de vinculación con la comunidad, ejecutados por docentes y estudiantes de la UTN. En este mismo tema, otras universidades y ONGs han participado y han efectuado investigaciones; es el caso de tesis de pregrado de estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador –sede Ibarra–, y la Fundación Imaymana, que realizó un estudio sobre restauración en el Noroccidente de la provincia de Pichincha.

9.4.4. Servicios de aprovisionamiento

El principal servicio de aprovisionamiento que aporta *A. nepalensis* es la madera, aspecto abordado en el presente capítulo como producto maderero.

Otros servicios son la producción de agua y alimentos. El primero se trata en el capítulo 3, ecología; y el segundo está vinculado a los sistemas agroforestales cuya contribución a la seguridad y soberanía alimentaria es reconocida. El establecimiento y manejo de sistemas agroforestales son temas descritos en los capítulos 7 y 8, de plantaciones y manejo silvicultural, respectivamente.



Capítulo

10

Economía

ECONOMÍA



Nota. Sistema agroforestal, asocio tomate de árbol *Solanum betaceum* con *A. nepalensis*.

La descripción de la economía de *A. nepalensis* se realiza en función del análisis de costos, ingresos y rentabilidad financiera, en todas las fases del ciclo silvícola y cadena de valor de la madera.

10.1. Costos

El costo aquí presentado corresponde a cada fase del ciclo silvícola y eslabones de la cadena de valor. En cuanto al ciclo silvícola, se muestran los costos de la producción de plántulas, plantación y manejo silvicultural; en cuanto a la cadena de valor, se exponen los costos del aprovechamiento, secado y comercialización de la madera.

10.1.1. Costos de producción de plántulas

El cálculo de costo de producción de plántulas se realizó en un vivero semipermanente, con infraestructura básica y bajo nivel tecnológico, el cual es representativo de los viveros donde actualmente se producen plántulas de *A. nepalensis* en la zona de Intag. Se realizó el estudio de costos, utilizando la metodología de costos variables y costos fijos (Añazco, 2000) en unidades experimentales de 1 000 plántulas (Tabla 15).

Tabla 15*Costo de producción de 1 000 plántulas de A. nepalensis*

Actividades	Cantidad y nombre	Fuerza de trabajo			Insumos			Total (\$)
		Mano de obra (días/hombre)	Costo unitario (\$)	Subtotal (\$)	Nombre	Cantidad	Subtotal (\$)	
Costos variables								
01.-Preparación de sustrato	0,50 m3	0,878	15	13,17	Desinfectante de suelo (Oxicloruro de cobre)	250 g	8	21,17
02.-Almacigado	7,5 g de semillas	0,264	15	3,96				3,96
03.-Llenado de fundas	1 000 fundas 4x6"	1,434	15	21,51	Fundas de polietileno 6"x 8"	1000	12,50	34,01
04.-Preparación área de crecimiento	3,11 m2	0,237	15	3,56	Malla protectora (Malla saran antitrips polisombra americana americana)	3 m ²	5	8,56
05.-Repique	1000 + 20 % por reposición	1,324	15	19,86				19,86
06.-Riegos	400 lts	1,388	15	20,82	Manguera y regadera	20 m	30	50,82
07.-Deshierbes	1000 plántulas	0,559	15	8,38				8,38
08.-Controles fitosanitarios		0,063	15	0,95	Fungicida	300 g	9	9,95
09.-Fertilización	1000 plántulas	0,042	15	0,63	10-30-10	1 kg	1,5	2,13
10.-Remoción y clasificación	1000 plántulas	0,25	15	3,75				3,75
11.-Mantenimiento de equipos y herramientas	Bomba de mochila (1) y herramientas (4)	0,651	15	9,76				9,76
12.-Pérdida de plántulas	100 plántulas			17,23				17,23
Subtotal		7,09		123,58			66	189,58
Costos fijos								
01.-Infraestructura								10
02.-Depreciación de equipos y herramientas								25
03.-Arriendo de la tierra								10
04.-Administración (5 %)								12
Subtotal								57
Total (\$)								246,58

El costo/plántula en un vivero es de USD 0,25/plántula. De este valor, el 77 % corresponde a los costos variables, es decir, los que varían en función del volumen de la producción; y el 23 % concierne a los costos fijos, que no varían de acuerdo con el volumen de la producción.

Los costos variables se componen de dos grandes rubros: mano de obra e insumos. La primera aporta con el 65 % de la estructura total del costo; el restante 35 % corresponde a los insumos.

El costo de la mano de obra se distribuye así: un 17,40 % en el llenado de funda; 16,85 % en riego; 16,07 % repique; 13,95 %, pérdida de plántulas; 10,65 %, preparación de sustratos; 7,90 %, mantenimiento de equipos y herramientas; 6,78 % deshierbes; 3,20 % almácigado; 3,03 %, remoción y clasificación de plántulas; 2,89 %, preparación del área de crecimiento; 0,77 %, controles fitosanitarios, y 0,51 %, fertilización.

El costo de insumos se distribuye en un 45,45 % en los instrumentos para riego –manguera y regadera–; 25,76 % en fungicidas, desinfectantes de suelo y semillas; 18,95 % en fundas de polietileno; 5,57 % en la malla protectora, y 2,27 % en adquisición de fertilizantes.

Los costos fijos se organizan así: 43,86 %, depreciación de equipos y herramientas; 21,05 %, administración; 17,58 %, infraestructura, y 17,51 %, arriendo del espacio de terreno para instalar el vivero.

10.1.2. Costos de plantación

Varían en función de los objetivos y, dentro de estos, de acuerdo al tipo de plantación utilizado, puesto que esto último determina el número de plántulas requeridas, que condicionan la realización de varias actividades a fin de cumplir con los objetivos propuestos (para mayor detalle sobre los tipos de plantación, ver capítulo 4).

Para el cálculo del costo de plantación se utilizó la metodología de costos directos y costos indirectos (Gutiérrez, 2008). A continuación, se muestra un ejemplo para una plantación en tresbolillo, a 3 x 3 m (Tabla 16).

Tabla 16

Costos de plantación de una hectárea utilizando el método de tresbolillo (3 x 3 m)

Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Costo/jornal (\$)	Costo total (\$)
Costos directos				
1. Mano de obra				
A. Limpia	Jornal	3	15	45,00
B. Señalamiento	Jornal	2	15	30,00
C. Hoyado	Jornal	10	15	150,00
D. Transporte plántulas	Jornal	5	15	75,00
E. Distribución plántulas	Jornal	2	15	30,00
F. Plantación	Jornal	7	15	105,00
G. Fertilización	Jornal	1	15	15,00
Subtotal		30		450,00
2. Insumos				
E. Adquisición de plántulas	Plántulas	1 283	0,30	384,9
F. Transporte de plántulas	Km	30	1,00	30
G. Plántulas de replante (20 %)	Plántulas	257	0,30	77,10
H. Adquisición de fertilizante	Quintal	1	45	45
Subtotal				537,00
3. Materiales y herramientas				
I. Depreciación materiales y herramientas	Kit	1	50	50
Subtotal				50
	Total (\$)			1 037,00
Costos indirectos				
K. Administración	%	5		51,85
L. Asistencia técnica	%	8		82,96
M. Seguro forestal	%	2		20,74
	Total (\$)			155,55
	Costo total/hectárea (\$/ha)			1 192,55

En la distribución porcentual de costos, los directos representan el 87 %; el restante 13 % corresponde a los indirectos. Dentro de los costos directos, los insumos representan el 52 %; la mano de obra, el 43 %, y los materiales y herramientas, el 5 %. En los costos indirectos, la asistencia técnica representa el 53,33%; la administración el 33,34 % y el seguro forestal el 13,33 %.

La adquisición de plántulas representa el porcentaje más alto del costo de plantación: el 32 % del costo total; sigue el hoyado, con el 13 %, y la plantación, con el 9 %, entre los principales que habrá que tomar en cuenta en un análisis, cuando se busque reducir costos de establecimiento.

En los últimos años se han realizado varios análisis de costos, para los cuales se han utilizado distintos tipos de plantación, que llevan implícitos diferentes números de plántulas/ha; además, el costo/plántula ha ido variando con el tiempo, como también la mano de obra, que pasó de USD 10/jornal (un jornal=8 horas de trabajo) a USD 18,00/jornal. En la Tabla 17 se muestran algunos de los estudios de los costos mencionados.

Tabla 17

Costos en diferentes tipos de plantación

Tipo de plantación	Número de plántulas/ha	Costo/plántula (\$)	Costo de plantación/ha (\$)	Autor
01.- En bloque (tresbolillo)	1 283	0,30	1 192,55	Añazco y Vallejos (2022)
02.-En bloque (marco real)	1 111	0,30	1 053,22	Añazco y Vallejos (2022)
08.-En bloque (marco real)	625	0,20	710	MAGAP (2014)
03.-Sistema agrosilvícola	120	0,25	120	Paredes et al (2020)
04.-Bosquete	721	0,20	649,93	Arteaga (2018)
05. Bosquete (tresbolillo)	50	0,20	159,42	Arteaga (2018)
06.- Lindero	26	0,20	109,01	Arteaga (2018)
07.- Lindero	101	0,20	281,67	Arteaga (2018)
09.-Sistema silvopastoril	115	0.10	947,60	Imbaquingo y Naranjo (2010)

Además de las ya señaladas, la variación en los costos también obedece a otras causas, como el tipo de suelo, que es factor determinante en los costos de mano de obra. En un suelo de fácil de trabajar, un jornalero puede hacer 120 hoyos en un día; en suelos difíciles, ya sea por su grado de humedad, pendiente, compactación o textura arcillosa, este mismo jornalero no supera los 74 hoyos/día.

También se realizó análisis de costos en sistemas agroforestales contabilizando los componentes que lo integran, Benavides (2021) determinó que para establecer una hectárea de un sistema agroforestal con *A. nepalensis*, *C. arabica* y *Musa spp*, a una densidad de 80, 3000 y 280 plantas respectivamente, se requiere una inversión inicial de USD 3 248, 85. La estructura de costos mostró que, en promedio la mano de obra durante un período de 15 años representaría el 61,92 % de los egresos anuales, seguido por los insumos, 32,55 % y el transporte 5,53 %.

10.1.3. Costos de manejo silvicultural

Los costos de manejo comprenden desde las primeras limpiezas después de realizada la plantación, hasta las intervenciones silviculturales previas al aprovechamiento maderero. En la Tabla 18 se presentan costos a base de un programa absoluto de manejo, que comprende tres intervenciones silviculturales, con raleos y podas a los 5, 10 y 15 años. Para más información sobre el programa absoluto, ver capítulo sobre manejo silvicultural.

Tabla 18*Costos de manejo/ha. para un programa absoluto*

Actividad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$/ha) años														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Costos directos																	
1. Mano de obra																	
a. Coronas (2 veces/año)	4 jornales	15	60	60													
b. Replante	2 jornales	15	60														
c. Raleos	5 jornales	15				75											
d. Podas	6 jornales	15				90				90							90
e. Motosierrista	15 jornales	20								150							150
f. Ayudante	15 jornales	15								113							113
Subtotal mano de obra: \$ 1 051,00																	
2. Materiales y herramientas																	
g. Materiales	Cinta y pintura (3)	10				30				30							30
h. Depreciación de herramientas	Tijeras de podar, machete, lima sierra de arco (6)	25				50				50							50
3. Maquinaria, equipos e insumos																	
i. Alquiler motosierra/sierra disco	20 días	15								100							200
j. Combustible	20 galones	2,45								20							29
k. Aceite	2 galones	50								50							50
Subtotal materiales, herramientas, maquinaria, equipos e insumos: \$ 689,00																	
Total costos directos: \$ 1 740,00																	
Costos indirectos																	
K. Administración	%	5								\$ 87,00							
L. Asistencia técnica	%	10								\$ 174,00							
Total costos indirectos: \$ 261,00																	
Costo total /ha: \$ 2 001,00																	

El manejo de una hectárea de plantación con *A. nepalensis*, a una densidad de 1 111 plantas/ha, es de USD 2 001. Los costos directos representan el 87 %; los indirectos el 13 %. Dentro de los costos directos, la mano de obra representa el 65 %, y los materiales y herramientas, el 35 %. En cuanto a los costos indirectos, a la asistencia técnica corresponde el 67 %, y el 33 % a los gastos administrativos.

10.1.4. Costo de aprovechamiento

Los costos de aprovechamiento se calcularon en función de la metodología de costos directos e indirectos (Tabla 19). La información previa obtenida para el cálculo de los costos de aprovechamiento se menciona a continuación.

10.1.4.1. Características de la plantación para aprovechamiento maderero.

Los costos están calculados a base del aprovechamiento de una hectárea de plantación y tomando como referencia un programa absoluto de manejo silvicultural. El turno de corta se efectuó a los 23 años; se cosecharon 83 árboles/ha, con diámetro promedio de 61 cm; altura promedio de 20,23 m y una producción de 339,47 m³ de madera rolliza y 169,73 m³ de madera aserrada.

10.1.4.2. Tumba y apilado.

La tumba o tala de los árboles se efectúa con motosierra; para ello se requiere una persona con destrezas para utilizarla; además, participa un ayudante. El rendimiento de este equipo de trabajo es de 20 árboles diarios, con un volumen aproximado de 82 m³.

10.1.4.3. Aserrado.

Es importante considerar que el aserrado se ha realizado con motosierra, lo que genera un desperdicio que supera el 50 %; esta situación se está corrigiendo, para ello se ha empezado a utilizar sierra circular de mesa en sitios donde la accesibilidad lo permite, lo cual disminuye el costo de aprovechamiento y la labor es más eficiente, puesto que mejora la productividad.

Una tercera opción es la que combina el uso de los dos tipos de maquinarias: la motosierra se utiliza para la conversión de troza a bloque y, la sierra circular de mesa (en escasas ocasiones, la sierra de cinta) en la transformación del bloque a tablón, tabla u otro tipo de pieza; esta es la operación propuesta para el cálculo del costo de aprovechamiento de los 339,47 m³. El costo de aserrado se calcula con un rendimiento promedio de 1,5 m³ diarios, integrado por un operador de la motosierra, un ayudante y un operario de la sierra circular de mesa.

10.1.4.4. Extracción.

El costo de esta actividad está influenciado por la distancia, la topografía de terreno y el tipo de tracción utilizada.

En el presente cálculo de costos, se considera la extracción de madera de un sitio con terreno inclinado y con una distancia de 0,5 km, mediante el uso de tracción animal (acémilas); el rendimiento previsto es de 72 piezas (tablones)/acémila.

10.1.4.5. Asistencia técnica.

Se efectúa para la realización de un inventario/censo de la plantación, a fin de conocer los volúmenes de madera existente y planificar su aprovechamiento; además, es un requisito que se debe

cumplir, estipulado en la norma legal cuya autoridad es el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

La normativa forestal del Ecuador señala la necesidad de obtener el permiso respectivo para aprovechar las plantaciones, como también para movilizar los productos madereros extraídos. Entre los documentos que se requieren para obtener el permiso constan:

- Plan de corta (documento que autoriza la actividad forestal).
- Licencia de aprovechamiento (documento que permite talar el bosque).
- Guía de movilización (documento que permite movilizar la madera del campo al centro de acopio o a la industria).

Las actividades específicas de asistencia técnica para inventario o censo forestal son las siguientes:

- Delimitación del área que se va a aprovechar (mapa digital).
- Inventario/censo (número de árboles, volumen de madera).
- Preparación del expediente.
- Subir al sistema de producción forestal SPF del Ministerio de Agricultura.

10.1.4.6. Administración.

Aunque el trámite ante la autoridad competente no tiene costos, para el productor sí se genera un costo, por cuanto debe acudir a una notaría pública y hacer notarizar los documentos. Esta actividad la realiza el propietario, quien debe indicar que toda la documentación y la información son verdaderas. Los costos son: USD 20,00 que debe cancelar al Notario y USD 6,00 por el certificado de la propiedad.

Tabla 19

Costos de aprovechamiento para una hectárea de plantación de A. nepalensis

Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Costo/jornal (\$)	Costo total (\$)
Costos directos				
1.Mano de obra (tumba/apilado)				
A. Motosierrista	jornal	4	20	80,00
B. Ayudante	jornal	4	15	60,00
2. Mano de obra (aserrado)				
C. Motosierrista	jornal	113	20	2 260,00
D. Operario de sierra disco	jornal	113	18	2 034,00
E. Ayudante	jornal	113	15	1 695,00
Subtotal				6 129,00
3.Maquinaria, equipos, herramientas e insumos				
F. Alquiler				
motosierra/sierra disco	día	117	15	1 755,00
G. Combustible	galón	35	2,45	85,75
H. Aceite	galón	10	50	500,00
I. Machete, lima, cinta (depreciación)	herramientas	1	50	50,00
Subtotal				2 390,75
3. Extracción				
J. Alquiler de acémila	día	7	20	140
K. Arreador	jornal	7	15	105
Subtotal				245
Total				8 764,75
Costos indirectos				
K. Asistencia técnica (inventario/censo forestal)				
	m ³	339,47	0,35	118,81
L. Administración (permiso para aprovechamiento de madera)				
	m ³	339,47	0,080	27,16
Total				145,97
Costo total/hectárea (324 m³)				8 910,72

10.1.5. Costos de secado

Yépez (2021) utilizando la metodología de costos variables y costos fijos, realizó un estudio del secado de la madera de *A. nepalensis*. Empleó tres métodos: intemperie, bajo cubierta y cámara solar tipo invernadero. Los costos fueron diferentes en cada método (Tabla 20).

Tabla 20

Costo de secado utilizando diferentes métodos

Método de secado	Costo/hectárea (\$)	Costo/m ³ (\$)	Costo/árbol (\$)
1. Intemperie	3 929,22	318,82	47,34
2. Bajo cubierta	6 683,99	542,30	80,53
3. Cámara solar	12 285,66	996,80	148,02

10.1.6. Costos de comercialización

Uno de los lugares donde se comercializa la madera de *A. nepalensis* es la ciudad de Otavalo, ubicada a 90 km desde el sitio de aprovechamiento; el costo de transporte es de USD 0,4/km o lo que equivale USD 1/tablon o USD 36/m³.

10.1.6.1. Costo total.

Los cálculos y análisis de los costos antes descritos, permiten resumir los costos de las diferentes fases del ciclo silvícola y eslabones de la cadena de valor (Tabla 21).

Tabla 21

Costo total por fase del ciclo silvícola y eslabones de la cadena de valor

Fase/eslabón	Costo/ha* (\$)	Costo/m3 (\$)	Costo/planta (\$)
1. Plántulas	333,30	0,07	0,25
2. Plantación	1 069,39	3,68	0,93
3. Manejo silvicultural	2 001,00	7,00	2,04
4. Aprovechamiento	8 910, 72	52,50	7,51
5. Costo de secado**	3 929,22	318,82	47,34
6. Comercialización	957,80	36,00	0,01
Total	17 201, 43	418.07	58,08

* cálculo efectuado sobre la densidad de 1 111plántas/ha

** secado a la intemperie

Nota. Adaptado de (Yépez, 2021).

10.2. Ingresos

El aprovechamiento de la madera de *A. nepalensis* genera, a lo largo de su ciclo silvícola, dos tipos de ingresos: los que no son en efectivo y los ingresos en efectivo.

Los ingresos que no son en efectivo corresponden al valor de la producción aprovechada para consumo del propietario del predio donde se ha establecido la plantación o sistema agroforestal con *A. nepalensis*. Los ingresos en efectivo son los que se perciben por la venta de bienes y servicios en efectivo, tal como ocurre con la venta de madera.

Los ingresos en efectivo varían de acuerdo con la oferta y demanda de madera que el mercado impone; también dependen de los rendimientos volumétricos; estos, a su vez, están condicionados por las diferentes técnicas silviculturales que se hayan aplicado, que

van desde la selección de la semilla de calidad, hasta la disposición de plántulas de buena calidad en el vivero, el tipo de plantación, la aplicación de tratamientos silviculturales y las técnicas de aprovechamiento. Otro factor que incide son las distancias para extracción y transporte de madera entre la plantación y los sitios de acopio y comercialización.

A continuación, se presenta un análisis de ingresos basado en un programa de manejo silvicultural absoluto para una plantación en bloque, con una densidad inicial de plantación de 1 111 plantas/ha (Tabla 22).

Tabla 22*Ingresos/ha de plantación de A. nepalensis*

Actividad	Año	No. árboles/ha	Volumen madera rolliza (m ³)	Volumen madera aserrada (m ³)	Valor unitario (\$)	Total (\$)	Observaciones
1.Plantación	0	1 111					
2.Sobrevivencia (después del replante) (75 %)	3	833					
3.Primer raleo (39 %)	5	325	39				Ingreso no en efectivo
4.Segundo raleo (33 %)	10	275	250,8	62,70	50	3 100, 0 0	50 % ingresos no en efectivo
5.Tercer raleo (18 %)	15	150	297	148,50	70	10 395,00	
6.Aprovechamiento final (10 %)	23	83	339,47	169.73	120	20 367,60	
Total			926,27	380,93		33 862,60	

El ingreso neto es de USD 16 661,17/ha, equivalente a USD 88,89/m³. Por árbol, el ingreso varía entre USD 240 y USD 360, lo que depende del tipo de pieza que se extraiga, puesto que la comercialización de cada una está en función de la oferta y la demanda del mercado, lo cual mantiene una constante fluctuación de precios.

10.3. Análisis de rentabilidad financiera

Se realizaron dos estudios para conocer la rentabilidad financiera de los sistemas agroforestales donde se maneja *A. nepalensis* (Tabla 23). También se desarrolló una investigación sobre los métodos de secado de la madera de la especie. Los indicadores financieros utilizados fueron el Valor Actualizado Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Beneficio/Costo y Valor Esperado de la Tierra (VET).

Tabla 23

Rentabilidad financiera de sistemas de producción con A. nepalensis

Indicador financiero	Sistema silvopastoril	Sistema agrosilvícola
VAN	24,26	10,51
TIR	41	58
B/C	3,19	6,58
VET	35,78	---

En el sistema silvopastoril se asocia *Alnus nepalensis* D. Don con *Brachiaria decumbens* Stapf. La inversión se recuperó en el tercer año. Si se compara con un monocultivo de pastos, donde la inversión se recupera a los cinco años, existe una diferencia significativa que redunda en la rentabilidad del sistema. Los cuatro

indicadores financieros fueron superiores en el sistema silvopastoril, en comparación con el monocultivo. Esta diferencia es notoriamente marcada, debido a la venta de la madera del aliso de Nepal (Ocampo, 2018).

El sistema agrosilvícola está compuesto por *Alnus nepalensis* D. Don, en asocio con *Coffea arabica* (café) y *Calliandra pittieri* Standl (tura). Se comienza a recuperar la inversión a partir del tercer año, cuando el café inicia su producción. Posteriormente, este cultivo se incrementa hasta permanecer constante desde el quinto año. En el sexto año existe un ingreso adicional, que corresponde al raleo de la plantación de *A. nepalensis*. En el décimo año se genera el mayor ingreso del sistema por el aprovechamiento de la madera de aliso de Nepal. El café aporta con el 65 % del ingreso total del sistema; la madera lo hace con el 35 %; la madera de tura no es un ingreso en efectivo, por cuanto la utiliza el propietario en su predio (Paredes et al., 2020).

Benavides (2021) en un sistema compuesto por *A. nepalensis* en asocio con *C. arabica* y *Musa* spp, proyectado a 15 años con una tasa de interés del 8,53 %, determinó un valor actual neto (VAN) de USD 9 760,32, tasa interna de retorno (TIR) del 32 %, relación beneficio costo (B/C) de USD 4,00 y un período de recuperación de la inversión al sexto año.

La evaluación de los diferentes métodos de secado de la madera de *Alnus nepalensis*, dio como resultado que el método cámara solar es el de mayor rentabilidad financiera (Tabla 24).

Los precios de venta de la madera seca mediante cámara solar fueron superiores a los que se obtuvieron por métodos bajo cubierta e intemperie, lo que se debe a la menor incidencia de defectos que presenta la madera seca bajo cámara solar.

Tabla 24

Análisis de rentabilidad financiera del secado de la madera de A. nepalensis

Método de secado	VAN (\$)	TIR (%)	B/C (\$)
1. Intemperie	187,94	89	2,34
2. Bajo cubierta	111,58	64	1,68
3. Cámara solar	376,41	178	2,85

Nota. Adaptado de Yépez (2021)

Como conclusión, se tiene que el análisis de costos e ingresos en el ciclo silvícola de *A. nepalensis*, y de secado y comercialización de la madera, determinó una alta rentabilidad financiera, lo cual complementa plenamente los beneficios ecológicos y sociales que la especie brinda, en especial a pequeños productores, quienes han sido los principales protagonistas en la adaptación del aliso de Nepal en sus sistemas de producción agropecuaria, y han obtenido, en algunos casos, ingresos superiores a los generados por los cultivos agrícolas o la cría de animales bovinos.

Asimismo, a lo largo de tres décadas, los conocimientos que han adquirido los pequeños agricultores, les permiten generar ingresos por la venta de semillas, producción de plántulas, servicios de asistencia técnica en plantaciones, aprovechamiento y comercialización de la madera, y oferta de servicios adicionales,

como alquiler de vehículos, acémilas y motosierra. Además, se emplea mano de obra local en todas las actividades antes mencionadas, situación que aporta a mejorar la economía de varias familias, puesto que la situación económica del área rural del Ecuador es compleja, donde la ausencia de ofertas de empleo local constituye el principal detonante de la depresión económica que deben soportar varios espacios rurales del país.

Por otro lado, la academia, a través de la investigación, ha contribuido a ampliar la frontera de información-conocimiento, en especial en la dimensión económico-financiera, la cual es determinante en la sostenibilidad de los sistemas forestales y agroforestales, donde se maneja *A. nepalensis*.



Capítulo

11

Sostenibilidad

SOSTENIBILIDAD

Nota. Sistema silvopastoril con *A. nepalensis*.

Seguramente, el aspecto más destacado de la introducción de *A. nepalensis* al Ecuador es su contribución a la sostenibilidad de los sistemas productivos y, por ende, a beneficiar a comunidades, familias y personas, sin olvidar el aporte de la especie a la resiliencia de los ecosistemas andinos. El presente capítulo examina la sostenibilidad desde cuatro dimensiones: ambiental, financiera, social e institucional.

11.1. Metodología

Para determinar la sostenibilidad, se realizaron estudios en diferentes prácticas agroforestales; además, se efectuaron comparaciones entre monocultivos agropecuarios en los cuales no se ha incorporado *A. nepalensis*, y los que sí la tienen incorporada. La metodología consistió en diseñar doce indicadores en cuatro dimensiones de la sostenibilidad (Tabla 25). Se seleccionó la práctica agroforestal lindero con la especie *A. nepalensis*, en asocio con dos cultivos agrícolas diferentes y una especie de pasto (Tabla 25).

Tabla 25

Indicadores por dimensión para evaluar la sostenibilidad de sistemas productivos con A. nepalensis

Práctica agroforestal	Indicadores por dimensión de sostenibilidad			
	Ambiental	Financiera	Social	Institucional
1.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Coffea arabica</i>	1.-Suelo	5.-Valor Actualizado Neto (VAN)		
2.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Passiflora ligularis</i>	2.- Biodiversidad	6.-Tasa Interna de retorno (TIR)	9.- Seguridad alimentaria	11.- Actores
3.- Linderos de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Setaria sphacelata</i>	3.- Microclima 4.-Fijación de carbono	7.- Beneficio/costo (B/C) 8.-Valor Esperado de la Tierra (VET)	10.- Mano de obra	12.- Investigación

11.1.1. Dimensión ambiental

En el capítulo 3 sobre ecología, ya se advierten los beneficios de *A. nepalensis* al ambiente. En el presente análisis sobre sostenibilidad se utilizan cuatro indicadores: biodiversidad, suelo, microclima y fijación de carbono.

11.1.1.1. Suelo.

Las tres prácticas agroforestales tienen influencia en el pH de los suelos, puesto que el promedio fue de 5,60 considerado ligeramente ácido, que hace al suelo más productivo para los diferentes cultivos agrícolas.

En cuanto a los macronutrientes (P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn), la presencia del lindero forestal de aliso genera un impacto positivo al suelo, ya que aumenta los valores de los ya mencionados nutrientes. La materia orgánica es alta en el lindero, y registra valores bajos en el sitio sin árboles.

11.1.1.2. Biodiversidad.

Especies de flora y fauna, tanto silvestres como domésticas, se encuentran asociadas a *A. nepalensis* en distintos sistemas. En cuanto a la flora silvestre, los índices de diversidad son medios, de acuerdo con Simpson, Shannon-Weaver y Margalef. Varias asociaciones se han visto beneficiadas por los efectos alelopáticos positivos de *A. nepalensis*, como por ejemplo, el caso de la germinación de fréjol y café, que son especies domésticas.

En lo relacionado con la fauna, *A. nepalensis* es refugio de aves e insectos que cumplen diferentes roles, tales como: polinizadores, dispersores de semillas y depredadores. La práctica agroforestal aliso-café presenta los mayores índices de diversidad de avifauna, en tanto que aliso-granadilla, la mayor diversidad de insectos.

11.1.1.3. Microclima.

El análisis del microclima presenta dos vías: los parámetros microclimáticos, tales como: temperatura, precipitación, heliofanía y humedad relativa, asociados con los factores fisiográficos altitud y pendientes que influyen en la producción y reproducción de *A. nepalensis*; y el microclima, influenciado por la presencia de la especie, pues los árboles proyectan su sombra, que es la de mayor incidencia en el microclima, lo que repercute en el crecimiento y desarrollo de los individuos del aliso de Nepal.

11.1.1.4. Fijación de carbono.

Por constituir una especie heliófila que crece a plena luz en zonas templadas del trópico, su rápido crecimiento y alta producción de biomasa la convierten en una especie ideal para fijar carbono, en tasas que oscilan entre 0,022 hasta 0,57 t C/árbol, lo cual depende de la edad, altitud, tipo de plantación y manejo silvicultural.

11.1.2. Dimensión financiera

Los indicadores utilizados fueron: el valor actualizado neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio/costo (B/C) y el valor económico de la tierra (VET) (Tabla 26).

Tabla 26

Indicadores financieros de prácticas agroforestales con A. nepalensis

Práctica agroforestal	VAN US \$	TIR %	B/C	VET US \$
1.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Coffea arabica</i>	7 970,22	34	1,68	10 644, 18
2.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Passiflora ligularis</i>	11 035, 22	95	1,74	24 609, 35
3.- Linderos de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Setaria sphacelata</i>	5 670, 00	46	5,56	24 412, 19

Nota. Adaptado de Proaño (2021).

En el lindero donde se asocia *Alnus nepalensis* D. con café *Coffea arabica*, el café aporta con el 60 % del ingreso total del sistema; la madera de aliso de Nepal, con el 40 %. En el lindero donde se asocia *Alnus nepalensis* D. con granadilla *Passiflora ligularis*, la granadilla aporta con el 24 %, en tanto que la madera, con el 76 %. En el lindero en el cual se asocia *Alnus nepalensis* D. con el pasto *Setaria sphacelata*, el aporte aproximado de la madera es del 70 %; la venta de ganado de engorde es del 30 % (Proaño, 2021).

11.1.3. Dimensión social

Los indicadores analizados fueron seguridad alimentaria y mano de obra empleada.

11.1.3.1. Seguridad alimentaria.

Para el análisis de los aportes de cada práctica agroforestal a la seguridad alimentaria, se tomó en consideración la definición de esta, partiendo de que es un derecho humano, entendida como el acceso físico, económico y social a los alimentos.

Se evaluó el rendimiento de los dos principales componentes de cada práctica agroforestal. La productividad del café fue de 2 404 kg/ha, en pergamino, lo cual genera USD 4 598,4/ha de ingreso; se obtuvieron 24,88 m³/ha. de madera con un ingreso de USD 3 107,5. La granadilla produjo 199 800 unidades/ha/año con lo que se obtuvo un ingreso bruto de USD 6 000,00. El rendimiento de madera fue de 92,00 m³/ha, que generaron USD 12 661,5. El pasto produjo 21 653 kg biomasa/ha.; la productividad de madera fue de 115,65 m³/ha, y se obtuvieron USD 17 883,50.

La distribución física, social y económica de los productos generados en cada práctica varía de acuerdo con los objetivos, actor social y tipo de práctica agroforestal (Tabla 27).

Tabla 27*Distribución física, social y económica de productos*

Práctica agroforestal	Redistribución dentro de la misma práctica %	Abastecimiento familiar e institucional %	Producto destinado a la comercialización %
1.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Coffea arabica</i>	9	32	59
2.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Passiflora ligularis</i>	6	28	66
3.- Linderos de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Setaria sphacelata</i>	2	25	73

Nota. Adaptado de Proaño (2021).

Los ingresos generados por la comercialización del café, granadilla, carne de bovino y madera, se distribuyen en porcentajes en cada práctica agroforestal, para continuar con su manejo; otro porcentaje se destina a cubrir necesidades alimenticias de las familias propietarias de los predios. Tanto el café, como la leche producida por el ganado bovino, constituyen productos consumidos por los miembros de cada núcleo familiar. El 28 % de la producción de la granadilla se destina al consumo de estudiantes y docentes, toda vez que el predio en que se la cultiva es propiedad de un colegio de enseñanza secundaria, es decir, una institución educativa.

11.1.3.2. Mano de obra.

Se utiliza la mano de obra de cada familia propietaria del predio donde se maneja la práctica agroforestal; además, se requiere contratar mano de obra externa al predio (Tabla 28).

Tabla 28

Mano de obra utilizada en las prácticas agroforestales con A. nepalensis

Práctica agroforestal	Mano de obra familiar Jornales/ha	Mano de obra contratada Jornales/ha	Total, mano de obra utilizada jornales /ha
1.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Coffea arabica</i>	6	51	57
2.-Lindero de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Passiflora ligularis</i>	4	69	73
3.- Linderos de <i>Alnus nepalensis</i> en asocio con <i>Setaria sphacelata</i>	5	16	21

Nota. Adaptado de Proaño (2021).

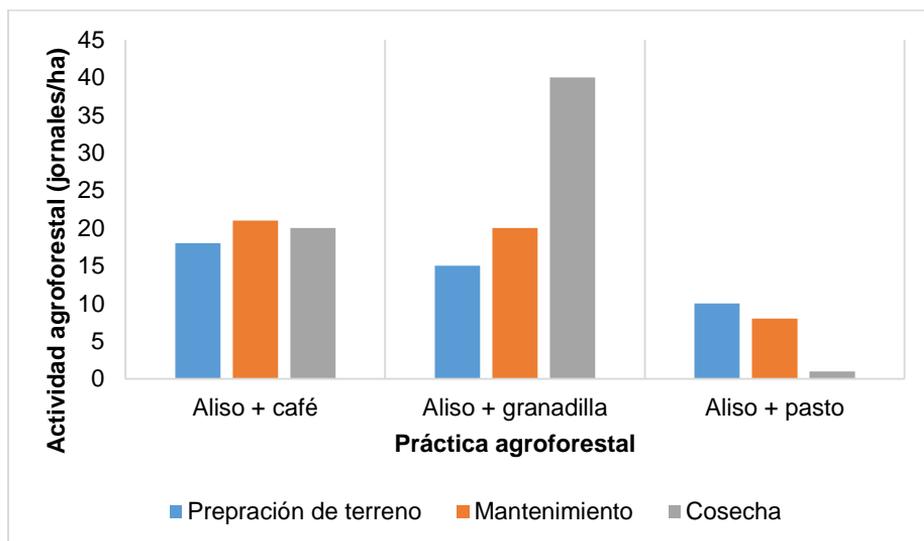
Los sistemas agroforestales en general y los que se asocian a *A. nepalensis* en particular, son demandantes de mano de obra, lo cual es relevante en un medio rural donde las fuentes de trabajo son escasas dada la permanente crisis económica y social a la que están expuestas las familias de campesinos, indígenas y pequeños agricultores que aún habitan el campo ecuatoriano.

Los cultivos pasto y café son los menores demandantes de mano de obra por su condición de cultivos permanentes, contrariamente al cultivo de granadilla, que puede mantenerse en producción entre dos y tres años, lo que depende de varios factores que incluyen, la propia genética de la planta, las condiciones edafoclimáticas del sitio y el manejo agronómico del cultivo.

Las actividades que demandan mayor mano de obra se ubican en los diferentes estadios de crecimiento y desarrollo de cultivos y de la especie aliso de Nepal: preparación del terreno, mantenimiento y cosecha (Figura 78).

Figura 78

Uso de mano de obra por actividad en cada práctica agroforestal



Nota. Adaptado de Proaño (2021).

La práctica de mayor demanda total de mano de obra es el lindero de *Alnus nepalensis* en asocio con *Passiflora ligularis*. La actividad agroforestal donde se requiere la mayor cantidad de mano

de obra es la cosecha, en las prácticas lindero de *Alnus nepalensis* en asocio con *Passiflora ligularis*, y lindero de *Alnus nepalensis* en asocio con *Coffea arabica*.

11.1.4. Dimensión institucional

Los indicadores, actores e investigación constituyen la dimensión institucional, que es determinante para la sostenibilidad de los sistemas de producción y conservación.

11.1.4.1. Análisis de actores.

Varios tipos de actores se han involucrado desde la introducción de la semilla procedente de Nepal –adquirida por CARE Internacional a la empresa holandesa de semillas SETROPA (Seeds The Root of Man-Made Forests)– hasta la presente fecha, en que intervienen consumidores de los productos y servicios que brindan los árboles de la especie *A. nepalensis*.

En el inicio del proceso se destacan los Proyectos Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas (PROMUSTA) y Uso Sustentable de los Recursos Biológicos (SUBIR), ambos liderados por CARE Internacional, asociados con organizaciones nacionales e internacionales. Posteriormente, los proyectos Desarrollo Forestal Campesino (DFC) y el de Biocorredores para el Buen Vivir hicieron presencia en la zona donde se encuentra la especie aliso de Nepal.

Todos los proyectos han colaborado con asistencia técnica, capacitación y provisión de insumos que permitieron consolidar

actividades, tanto en las diferentes etapas del ciclo silvícola de la especie, como en la cadena de valor de la madera.

En los últimos años, a más de quienes transforman y comercializan madera, se destaca la presencia de la Universidad Técnica del Norte (UTN), institución que en la última década brinda su aporte con proyectos de vinculación e investigación. El proyecto de vinculación titulado “Asistencia técnica para fortalecer la cadena de valor de *Alnus nepalensis* D. Don, en las parroquias de Apuela, Peñaherrera y Cuellaje de la zona de Intag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”, se ejecutó durante 18 meses.

Un proyecto de investigación fue: “Evaluación del comportamiento silvicultural, ecológico y económico de *Alnus nepalensis* D. Don, en la zona norte del Ecuador”, el cual se desarrolló durante dos años. Otro proyecto fue “Agroforestería para el buen vivir” que se ejecutó durante tres años en el norte del país – incluida la zona de Intag– donde se analizaron sistemas agroforestales que incorporaron la especie *A. nepalensis*. Estos proyectos fueron complementarios. El de vinculación se concentró en fortalecer los diferentes eslabones de la cadena de valor. En los de investigación se abordó el ciclo silvícola de la especie y su impacto ecológico.

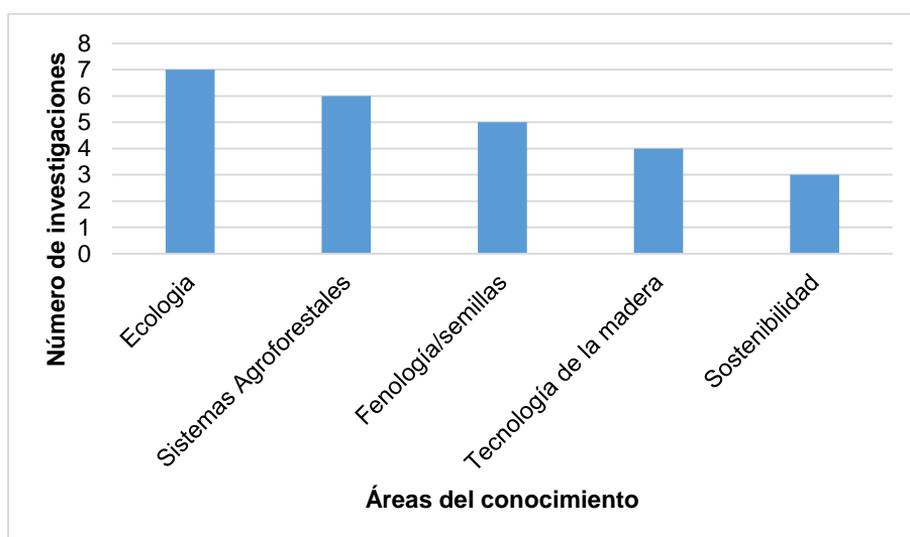
11.1.4.2. Investigación.

En el marco del proyecto de investigación antes mencionado, se publicaron tres artículos científicos y un capítulo de libro y, se presentaron cuatro ponencias en congresos y seminarios internacionales.

La más extensa y profunda se realizó en el marco de proyectos de investigación de pregrado de la carrera de Ingeniería Forestal de la UTN, donde 25 nuevos ingenieros forestales lograron obtener su título académico al realizar su investigación en temas relacionados con *A. nepalensis* (Figura 79).

Figura 79

Investigaciones a nivel de pregrado realizadas sobre la especie A. nepalensis



Las investigaciones se han realizado entre los años 2010 y 2022; el 28 % de ellas, se efectuaron en el año 2021 y el 20 % en el año 2020, lo cual significa que durante los años de mayor presencia de la pandemia COVID-19, se culminaron la mayoría de los proyectos de investigación que se iniciaron entre los años 2018 y 2019.

Referencias

- Aguilar, M. y Velarde, J. (2001). *Tablas de volúmenes para la estimación del volumen forestal*. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Aldana, E. (2008). *Medición forestal*. Integrated Food Security Phase Classification.
- Angst, Š. et al. (2017). Retention of dead standing plant biomass (marcescence) increases subsequent litter decomposition in the soil organic layer. *Plant and Soil*, 418(1), 571-579.
- Añazco, M. (1996). *El Aliso*. FAO-INEFAN
- Añazco, M. (2000). *Producción de plantas*. Consorcio CAMAREN, Red Agroforestal ecuatoriana.
- Añazco, M., Espinosa, A., Chagna, E., Guachamin, V., Ramírez, J., Ocampo, L. y Vizcaino, M. (2019). Especies forestales y su aporte a la mitigación del cambio climático en los Andes del Ecuador. En Huertas, J., Guerrero, G. y Cadena, A. (comp.), *San Juan de Pasto: Ciencias ambientales, Base para la sostenibilidad* (pp. 58-69). Editorial UNIMAR.
- Añazco, M., Vallejos, H. y Vizcaino, M. (2018). Dinámica de crecimiento de *Alnus nepalensis* D. Don en el noroccidente de Ecuador continental. *CFORES*, 6(3), 354-365.
- Arteaga, D. (2018). *Crecimiento inicial de aliso (Alnus nepalensis D. Don) en dos prácticas agroforestales establecidas, en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Barbas, V., Papaioannou, A., Orfanoudakis, M. (2001). *Preliminary studies in Alnus glutinosa root symbiosis in the field*.

Laboratory of Forest Genetics. Department of Forestry and Natural environment, Aristotle University of Thessaloniki.

- Barrantes Rodríguez, A. (2013). *Guía técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables.* Oficina Nacional Forestal.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems.* (4ta ed.). Blackwell Publishing.
- Benavides, W. (2021). *Efecto de dos tipos de fertilizantes en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con *Alnus nepalensis* D. Don y *Coffea arabica* L. en el sector San Antonio, parroquia de Apuela zona de Intag.* [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Benítez de Rojas, C., Cardozo L., A., Hernández Ch., L., Lapp Héctor Rodríguez, M., Ruiz Z., T., Torrecilla, P. (2006). *Botánica sistemática fundamentos para su estudio.* https://www.academia.edu/7557174/BOT%C3%81NICA_SISTEMA_FUNDAMENTOS_PARA_SU_ESTUDIO
- Bobadilla, E. (2004). Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción. *Maderas. Ciencia y tecnología (Chile)*, 7(2):134-134
- Bobadilla, E., Pereyra, O., Silva, F. y Stehr, A. (2005). Durabilidad natural de la madera de dos especies aptas para la industria de la construcción. *Floresta (Brasil)*, 35 (3):419-428.
- Bravato, M. (1974). Estudio morfológico de frutos y semillas de las Mimosoideae (Leguminosae) de Venezuela. *Acta Bot. Venez.*, 9(1-4):317-361
- Cairnis, M. (2004). *Voces desde el bosque integrando el conocimiento indígena en la agricultura sustentable de tierras altas.* [Tesis de maestría]. Washington D.C. USA.

- Campo, M. (2021). *Composición florística y estructural de tres ecosistemas forestales en la reserva hídrica el Paraíso, parroquia Peñaherrera, Cotacachi – Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Cara, J. (2006). La observación fenológica en agrometeorología. *Ambienta*, 53: 54-70
- Carlosama, X. (2020). *Influencia de aliso (Alnus nepalensis D. Don.), en sistema silvopastoril, en la parroquia Jacinto Jijón y Caamaño, provincia del Carchi*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Carlson, P. y Añazco, M. (1990). *Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana*. Red Agroforestal Ecuatoriana.
- Carvalho Santos C, P. H. (2014). Los servicios hidrológicos y el papel del bosque: conceptualización y basados en indicadores con ilustración a escala regional. *Ecol Complex*, 20, 69-80.
- Castillo, N. (2012). *Análisis del comportamiento del aliso Alnus nepalensis D. Don, asociado con Brachiaria Brachiaria decumbens Staff y pasto miel Setaria sphacelata (Schumach) Staff & C. E. Hubb y pasturas en monocultivo*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Cevallos, J. (2017). *Determinación de la ubicación geográfica de Alnus nepalensis D. Don en la zona de Intag noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Checa, X. (2010). *Caracterización de sistemas agroforestales en la subregión sierra centro del Ecuador*. [Tesis de pregrado inédita], Universidad Central].
- Croizat, L. (1952). *Manual of Phytogeography: An Account of Plant-Dispersal Throughout World*. <https://books.google.com.ec/books>

- Díaz, P. (2005). *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de Nothofagus glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes*. [Tesis pregrado, Universidad de Talca].
- Doria, J. (2010). *Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento*. Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Duarte, N. (s/f). *Árboles de alisos (Alnus nepalensis) y el ganado: una combinación exótica para la restauración en ecosistemas montanos de Ecuador*. Fundación Imaymana.
- Duarte, N., Cuesta, F., Arcos, I. (2018). Selección y establecimiento de estrategias y prácticas de restauración. En: Proaño, R.; Duarte, N., Cuesta, F. (Eds.). (2018). *Guía para la restauración de bosques montanos tropicales*. CONDESAN.
- Duke, J. A. (1983). *Handbook of Energy Crops*. Purdue University, Center for New Crops & Plants Products.
- Echeverría, F. (2021). *Determinación de la viabilidad de producción de plántulas de Alnus nepalensis D. Don*. Manuscrito en preparación.
- España, F. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de Nepal (Alnus nepalensis D. Don) en la zona de Intag, andes del norte del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Farinango, F. (2018). *Fijación de nitrógeno en nódulos de raíces de Alnus nepalensis D. Don en linderos a diferentes edades en la zona de Intag, Noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Flores, S. C., y Muñoz, C. D. (1989). *Determinación de los usos posibles de Alnus acuminata H.B.K. y Freziera canencens H.B.K., en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].

- Furrow, J. (s.f). *Flora of North América* (vol. 3).
<http://swbiodiversity.org/seinet/taxa/index.php?taxon=Alnus>
- Galloway, G. (1987). *Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la sierra ecuatoriana*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- García, A. S. (2018). *Manual práctico para el cultivo del pimiento en agricultura protegida*. Ediciones Mundi - Prensa.
- Gatter, S. y Romero, M. (2005). *Análisis económico de la cadena de aprovechamiento, transformación y comercialización de madera aserrada provenientes de bosques nativos en la región centro-sur de la Amazonía ecuatoriana*. Servicio Forestal Amazónico.
- Glen, H. F. (2002). *Cultivate plants of Southern Africa: botanical names, common names, origins, literature*. National Botanical Intitute Tacana. <https://books.google.com.ec/book>
- Gualpa, M. (2018). *Rendimiento de madera aserrada de Eucalyptus globulus labill (eucalipto) con sierra circular y de cinta en el cantón Riobamba*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal de Quevedo].
- Guamanzara, J. (2020). *Construcción de tablas volumétricas y factor de forma para Alnus nepalensis D. Don en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Gutiérrez, D. (2008). Metodología de costeo basado en las actividades para confecciones. *Económicas CUC*, 29 (29).
- Haro, B. (2021). *Influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial de la reserva hídrica el paraíso*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Hill, R. S. (Ed.) (1994). *History of the Australian Vegetation: Cretaceous to Recent*. Cambridge University Press.
<https://books.google.com.ec/books>

- Imaña, J. y Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de Brasilia.
- Imbaquingo, E. y Naranjo, D. (2010). *Comportamiento inicial de aliso (Alnus nepalensis D. Don) y cedro tropical (Acrocarpus fraxinifolius Wight y Arn), asociados con brachiaria (Brachiaria decumbens Staff.) y pasto miel (Setaria sphacelata (Schumach) Staff y C. E. Hubb)*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Inga, J. (2011). *Turno biológico de corta en Juglans neotropica Diels, a partir del análisis de anillos de crecimiento en selva central del Perú*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). *Anuario meteorológico No. 53-2013*.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (1972). *NCh 992 Eof 72 y NCh 993*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- International Seed Testing Association. (2016). *International rules for seed testing*. Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, Suiza.
- Joker, D. (2000). *Alnus nepalensis D. Don. Seed Leaflet, 1-2*.
- Lamichhaney, B P. (1984). *Variation of Alnus nepalensis D. Don in Nepal*. Thesis M Sc.). Trinity College, Oxford, UK.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales tropicales y sus especies arbóreas-posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido-*. Instituto de Silvicultura de la Universidad de Göttingen, Alemania.

- León, Y. (2020). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de área foliar en *Alnus nepalensis* D. Don, en la zona de Intag en los andes del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Little, E. (1983). *Common fuelwood crops*. Communi-Tech Association, Morgantown, West Virginia.
- Lombardi, I., Garnica, C., Carranza, J., Barrena, V., Ortiz, H., Gamarra, J., Ponce, B. (2014). *Evaluación de la recuperación de las poblaciones naturales de cedro y caoba en el Perú*: Universidad Nacional Agraria La Molina. 116 p.
- Matango, W. (2019). *Evaluación fenológica del *Alnus nepalensis* D. Don en base a la altitud en la zona de Intag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Mediavilla, F. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de *Alnus nepalensis* D. Don en Intag, zona andina del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Meneses, O. (2011). *Identificación de usos probables de *Pinus patula* con base en la determinación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Itaquí-Cotacachi-Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Millennium Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*.
- Millennium Assessment. (2007). *Millennium Ecosystem Assessment. A toolkit for understanding and action. Protecting Nature's services. Protecting ourselves*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2016). *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales*.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). *Sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental*.
- Molina, M., Medina, M. y Orozco, H. (2006). El efecto de la interacción Frankia - micorrizas - micronutrientes en el establecimiento de árboles Aliso (*Alnus acuminata*) en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19 (1).
- Mora, M. (2021). *Fenología de Alnus nepalensis D. Don en diferentes niveles altitudinales y su relación con la precipitación, zona Intag, cantón Cotacachi*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Murley, M. R. (1951). Seeds of the Cruciferae of Northeastern North America. *American Midland Naturalist*, 46 (1): 1-81.
- Napier, I. y M. Robbins. (1989). *Forest seed and nursery practice in Nepal*. Nepal-UK Forestry Research Project, Kathmandu, Nepal.
- Narváez, M. (2021). *Efecto de las hormonas de enraizamiento en la propagación asexual de alnus nepalensis D. Don en dos tipos de ambientes en la granja experimental "Yuyucocha*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Neil, P. E. (1990). *Alnus nepalensis: a multipurpose tree for the tropical highlands*. Nitrogen Fixing Tree Associaton.
- Núñez, D. (2022). *Evaluación de tres tipos de fertilizante en café (Coffea arabica), en un sistema agroforestal, Puranquí, Intag, Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Ocampo, L. (2018). *Sostenibilidad del sistema silvopastoril con Alnus nepalensis D. Don en asocio con Brachiaria decumbens Stapf en la parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].

- Oliveros, A. (2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Revista Química Viva*, 1(7).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Estudio FAO montes 20/.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1994). *El desafío de la ordenación forestal sostenible. Perspectiva de la silvicultura mundial*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Manejo forestal de uso múltiple en el trópico húmedo. Oportunidades y desafíos para el manejo forestal sostenible*.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales. (2012). *Caracterización tecnológica de las especies de madera. Capítulo 3. Proyecto ITTO PD 385/05 Rev.4 (I.F)*.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Simons, A., Jamnadass, R. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*.
- Paredes, H., Vallejos, H. y Añazco, M. (2020). *Evaluación financiera de un sistema agroforestal de *Alnus nepalensis* D. Don (aliso), en asocio con *Coffea arabica* (café) y *Calliandra pittieri* Standl (tura), en la zona de Intag, Cotacachi, Imbabura*. IV Congreso Internacional de Ingeniería Ambiental Forestal y Ecoturismo. CIDE.
- Paz, F. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (*Gmelina arborea roxb.*) de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].

- Pérez Camargo, L. E., y Suárez Campos, L. A. (2011). *Evaluación del efecto sombra en la producción de café –Coffea arabica L. - dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras.*
- Pezo, D., y Ibrahim, M. (1999). *Sistemas silvopastoriles*. Colección módulos de enseñanza agroforestal. Módulo No. 2. CATIE.
- Philpott, S. M., Lin, B. B., Jha, S., y Brines, S. A. (2008). A multi-scale assessment of hurricane impacts based on land-use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 128, 12-20. doi.org/10.1016/j.agee.2008.04.016
- Pimentel, B. L. (1971). Viveros; semilleros portátiles y el trasplante anticipado. *Bosques*, 8(3):4-26.
- Pires-O'brien, M. J., y O'Brien, C. M. (1995). *Ecología e modelamento de florestas tropicais*. <https://portals.iucn.org/library/node/23970>
- Pozo, M. P., y Terán, P. I. (1997). *Usos posibles de tachuelo Zanthoxylum riedelianum. Engler. y chillande Trichosoerrnum galioffi Karst. En base a sus propiedades físicas, mecánicas, preservación y trabajabilidad*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Primavesi, A. (1984). *Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales*. El Ateneo.
- Proaño, B. (2021). *Sostenibilidad de la práctica agroforestal (linderos), en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Promis, A., Caldentey, J. y Ibarra, M. (2010). Microclima en el interior de un bosque de Nothofagus Pumilio y el efecto de una corta de regeneración. *Bosque (Valdivia)*, 31(2):129-39.

- Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador. (1998). *Plantaciones agroforestales*. Cartilla 2- FAO, INEFAN, Países Bajos.
- Puente, J. (2022). *Evaluación de diferentes métodos de almacenamiento y tratamientos pre germinativos de semillas de *Alnus nepalensis* D. Don provenientes de la zona de Intag*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Ruiz, D. (2017). *Determinación de la durabilidad natural de la madera de *Carapa amorphocarpa* W. Palacios Y *Alnus nepalensis* D. Don*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Sevilla, A. (2020). *Determinación de métodos de conservación de semillas de *Alnus nepalensis* D. Don. (Aliso del Nepal)*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Shaw, K., Stritch, L., Rivers, M., Roy, S., Wilson, B. y Govaerts, R. (2014). *The Red List of Betulaceae*. Botanic Gardens Conservation International.
- Soto-Pinto, L. y Jiménez, G. (2018). Contradicciones socioambientales en los procesos de mitigación, asociados al ciclo del carbono en sistemas agroforestales. *Madera y bosques*, 28.
- Tafur, A. y Valverde, M. (2008). *Análisis de los sistemas de producción de las comunidades de UCINQUI*. AVSF.
- Tapia, J. (2010). *Durabilidad Natural de *Eucalyptus nitens* frente al ataque de hongos xilófagos*. [Tesis pregrado, Universidad Austral de Valdivia].
- Todd, F. y Mills, R. (2011). *Procesos de secado para evitar defectos en la madera verde*. Louisiana State University Agricultural Center.
- Vallejos, H., Añazco, M., Paredes, H., y Vizcaíno, M. (2018). *Propagación vegetativa por estacas de *Alnus nepalensis* D.*

Don utilizando dos tipos de hormonas de enraizamiento. REDU, 1098-1104.

- Valles, E. (2021). *Determinar el nivel de sombra de Coffea arabica en asocio con Alnus nepalensis D. Don. en la parroquia Seis de Julio de Cuellaje, norte del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Varela, G. (2017). *Efectos alelopáticos de Alnus nepalensis D. Don en cuatro cultivos agrícolas de importancia socioeconómica en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Wu, Z. Y. y Raven, P. H. (Eds.). (1999). *Flora of China. Vol. 4 (Cycadaceae through Fagaceae)*. Science Press, Beijing, and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis. <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume04/index.htm>.
- Yépez, E. (2021). *Evaluación técnica y económica del secado de madera de Alnus nepalensis D. Don, proveniente de la zona de Intag*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].

Semblanza de autores

Mario José Añezco Romero

mjanazco@utn.edu.ec

marioanazco@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4393-6485>



De formación Ingeniero Forestal, PhD en Desarrollo Humano y Sustentable. Experiencia en el diseño, ejecución y evaluación de planes, programas y proyectos de conservación y desarrollo forestal, participación en el diseño de políticas públicas, docente e investigador de las cátedras de Agroforestería, Silvicultura, Ecología y Economía forestal en la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte. Autor y coautor de varias publicaciones entre las que cuentan libros, capítulos de libro y artículos científicos.

Hugo Vinicio Vallejos Alvarez

hvvallejos@utn.edu.ec

vhugovinicio@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0003-3232-2381>



De formación Ingeniero Forestal con una maestría en Manejo Comunitario de Recursos Naturales. Se ha desempeñado profesionalmente en entidades públicas y ONGs de desarrollo del país; promotor de procesos de Desarrollo Rural, planificación y ordenamiento territorial. Docente e investigador de las cátedras de Botánica, Fisiología Vegetal, Ordenación, Genética y Mejoramiento Forestal en la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte. Autor de 11 publicaciones científicas.

Nataly Maricela Erazo García

natalyerazog99@gmail.com

nathyerazog@outlook.es

<https://orcid.org/0009-0002-6327-2452>



De formación Ingeniera Forestal, trabaja en el proyecto Manejo Forestal Sostenible en la Amazonía ecuatoriana. Experiencia en elaboración de planes de manejo forestal, extensión forestal comunitaria, aplicación de tratamientos silviculturales, estudios de cadena de valor de la madera y

análisis de información de inventarios forestales. Investigadora de la especie *Hieronyma macrocarpa*; autora del artículo científico “Combined Dormancy Breaking and Seed Germination of *Hieronyma macrocarpa* Müll. Arg. (Phyllanthaceae)”.

CIDE
EDITORIAL



ISBN: 978-9942-636-45-4



9789942636454