

1 **Evaluación De La Viabilidad De Semillas De Cholan**
2 **(*Tecoma Stans*) Y Aliso (*Alnus Acuminata*) Para Peletización**
3 **En Procesos De Reforestación En El Parque Nacional**
4 **Cotacachi-Cayapas**

5
6 Marjori Andrea Morejón Luna*, María Fernando López Flores, José Valdemar Andrade Cadena

7
8 ¹Escuela de Ciencias Agropecuaria y Ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede
9 Ibarra. Av. Jorge Guzmán Rueda y Av. Padre Aurelio Espinoza Polit, Ibarra 100112, Ecuador
10 *mamorej1@pucesi.edu.ec.

11
12 **Resumen**

13
14 Esta investigación se centró en la estandarización de fuentes semilleras de alta calidad mediante la
15 identificación del mejor árbol plus, utilizando semillas de *Tecoma stans* y *Alnus acuminata*, para procesos
16 de peletización, con fines de reforestación en el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas. El procedimiento
17 se desarrolló en tres fases: evaluación de tratamientos pregerminativos: sacarosa, nitrato de potasio
18 (KNO_3) y ácido giberélico (GA_3) en semillas de Imbabura, Carchi y Pichincha; formulación de pellets con
19 sustratos de tierra negra, arcilla, pómina e hidrogel; y validación de la supervivencia en campo en tres
20 pisos altitudinales: 3430, 2930, 2430 (msnm). Los resultados determinaron que el pretratamiento con GA_3
21 a $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ fue el más efectivo para *A. acuminata*, mientras que el KNO_3 al 1,5 % fue óptimo para *T.*
22 *stans*, destacando las semillas de Pichincha por su mayor potencial germinativo. En la fase de
23 peletización, el sustrato compuesto por 40 % tierra negra, 30 % arcilla, 20 % pómina y 10 % hidrogel
24 favoreció la emergencia de plántulas al equilibrar la protección mecánica con la porosidad necesaria para
25 el intercambio gaseoso. En campo, se alcanzaron tasas de supervivencia del 37,76 % para *A. acuminata*
26 a 3430 msnn y 46,85 % para *T. stans* a 2930 msnm, superando los promedios típicos de la siembra
27 directa convencional. Se concluye que la tecnología de "seedballs" es técnicamente factible para
28 programas de restauración a gran escala en ecosistemas altoandinos, ya que actúa como un
29 microambiente protector que mitiga el estrés ambiental y asegura un establecimiento comparable al de
30 sistemas de siembra protegida

31
32 **Palabras claves:** peletización, reforestación, *Tecoma stans*, *Alnus acuminata*, seedballs

33
34
35
36

Abstract

37 This research evaluated the viability and germinative potential of *Tecoma stans* and *Alnus acuminata*
38 seeds through pelleting processes for reforestation in the Cotacachi-Cayapas National Park. The
39 procedure was carried out in three phases: evaluation of pre-germinative treatments with sucrose,
40 potassium nitrate (KNO_3), and gibberellic acid (GA_3) on seeds from Imbabura, Carchi, and Pichincha;
41 formulation of pellets with black soil, clay, pumice, and hydrogel substrates; and field survival validation.
42 Results showed that GA_3 at $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ was the most effective pre-treatment for *A. acuminata*, while 1.5%
43 KNO_3 was optimal for *T. stans*, with seeds from Pichincha exhibiting the highest germinative potential. In
44 the pelleting phase, a substrate composed of 40% black soil, 30% clay, 20% pumice, and 10% hydrogel
45 favored seedling emergence by balancing mechanical protection with the porosity required for gas
46 exchange. In the field, survival rates reached 25.17% for *A. acuminata* and 46.85% for *T. stans*,
47 exceeding typical averages for conventional direct seeding. It is concluded that "seedball" technology is
48 technically feasible for large-scale restoration programs in high Andean ecosystems, as it acts as a
49 protective microenvironment that mitigates environmental stress and ensures establishment comparable
50 to protected sowing systems.

51

52 **Keywords:** pelletization, reforestation, *Tecoma stans*, *Alnus acuminata*, seedballs

53

Introducción

54
55

56 La restauración de los ecosistemas altoandinos es una prioridad global debido a su función crucial en la
57 regulación hídrica, almacenamiento de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad en zonas de alta
58 vulnerabilidad climática. La restauración de ecosistemas degradados en Ecuador enfrenta múltiples
59 desafíos técnicos y logísticos que limitan la escala y el éxito de las intervenciones (Olivia, M et al, 2026).
60 Entre estos desafíos destacan dos aspectos críticos: la disponibilidad de material vegetal de alta calidad
61 genética y fenotípica, y la eficiencia de las tecnologías de propagación y establecimiento en campo. La
62 identificación y selección de árboles plus (individuos superiores que exhiben características fenotípicas
63 sobresalientes en términos de forma del fuste, altura, diámetro, arquitectura de copa y sanidad)
64 constituye una estrategia fundamental para estandarizar las fuentes semilleras y mejorar la calidad del
65 germoplasma utilizado en proyectos de restauración (Lieurance, P et al, 2024). Paralelamente, la
66 peletización de semillas, una tecnología nueva con enfoque a especies forestales que consiste en
67 recubrir las semillas con una matriz protectora que facilita su manejo, almacenamiento y siembra directa,
68 representa una alternativa prometedora para reducir costos y aumentar la eficiencia de los programas de
69 restauración a gran escala (Alfonzetti, M et al, 2022). Este proceso no solo estandariza el tamaño de las

70 semillas pequeñas para una siembra más eficiente, sino que también puede actuar como un
71 microambiente protector que mitiga el estrés hídrico inicial (Pedrini, S et al, 2023). No obstante, el éxito
72 de esta tecnología es altamente dependiente de la especie y de la composición del pellet, ya que un
73 recubrimiento inadecuado podría actuar como una barrera física que impida la emergencia radicular
74 (Munro, T et al, 2024). Por ello, antes de implementar programas de restauración basados en siembra
75 directa de semillas peletizadas, es esencial evaluar si las especies candidatas presentan características
76 que las cataloguen como candidatas idóneas o deficientes para esta tecnología.

77 El presente estudio integra estos dos enfoques complementarios en el contexto de dos especies nativas
78 de alto valor ecológico para la restauración de ecosistemas andinos en Ecuador: *Tecoma stans* (L.) Juss.
79 *ex* Kunth y *Alnus acuminata* Kunth. *T. stans* es reconocida por su carácter pionero y alta tasa de
80 germinación, lo que facilita la colonización rápida de claros y bordes de bosque (Vargas-Figueroa, J et al,
81 2018). Por su parte, *A. acuminata* ha demostrado ser una de las especies nativas más competitivas para
82 la recuperación de paisajes degradados y pastizales andinos, gracias a su capacidad de mejorar la
83 fertilidad del suelo mediante la fijación simbiótica de nitrógeno (Weber, M et al, 2020). Lo que se busca es
84 evaluar la viabilidad de las semillas de ambas especies para procesos de peletización, determinando si
85 sus características son aptas para esta tecnología, identificando árboles plus en las provincias de
86 Imbabura, Pichincha y Carchi con el fin de estandarizar fuentes semilleras de alta calidad genética y
87 fenotípica que aseguren la reproducibilidad y el éxito de los programas de restauración en el país. La
88 selección de estas tres provincias responde a criterios biogeográficos y de conservación. Imbabura,
89 Pichincha y Carchi forman parte del corredor ecológico andino del norte de Ecuador, región que alberga
90 una alta diversidad de ecosistemas montañosos y que ha experimentado procesos intensos de
91 deforestación y degradación (Williams, P et al, 2021).

92 El Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, en Ecuador, ubicado principalmente en Imbabura y con
93 extensiones hacia Esmeraldas, representa uno de los refugios de biodiversidad más importantes de la
94 región; sin embargo, enfrenta procesos de degradación severos por cambios en el uso del suelo y
95 fragmentación de hábitats (Gómez, E et al, 2020). En este contexto, la reforestación activa con especies
96 nativas pioneras y fijadoras de nitrógeno surge como una estrategia indispensable para recuperar la
97 estructura y función del bosque. Por lo que lo hace el lugar idóneo para el estudio en campo que valide la
98 tecnología de peletización con la mejor semilla seleccionada.

99 Ya que, a pesar del potencial de estas especies, la reforestación mediante siembra directa enfrenta
100 desafíos biológicos y operativos significativos. La reducida masa de las semillas de *A. acuminata* y *T.*
101 *stans* complica su manejo mecánico, dosificación y precisión en campo, lo que a menudo resulta en una
102 distribución desigual y altas tasas de pérdida (Pedrini, S et al, 2023). Asimismo, la vulnerabilidad de las
103 semillas desnudas frente a la depredación, la escorrentía y el estrés ambiental limita el éxito del
104 establecimiento inicial. Estudios previos indican que, aunque *T. stans* posee una alta viabilidad intrínseca,
105 su germinación se ve drásticamente inhibida bajo condiciones de estrés osmótico, lo que sugiere que la
106 falta de humedad en suelos degradados es una barrera crítica (Cassin, C et al, 2016).

107 Hasta la fecha actual, existe un vacío de información sobre la aplicación de tecnologías de semillas
108 peletizadas en ecosistemas específicos del norte de Ecuador. La mayoría de los esfuerzos de
109 restauración locales se han limitado a la plantación de plántulas producidas en vivero, un método costoso
110 y logísticamente difícil en terrenos de alta montaña y difícil acceso. Evaluar la viabilidad de semillas
111 peletizadas de *T. stans* y *A. acuminata* es, por tanto, esencial para desarrollar protocolos de restauración
112 de bajo costo y alta escala.

113 Bajo estas premisas, la presente investigación plantea como hipótesis que el proceso de peletización con
114 diferentes sustratos presentan una mayor efectividad en la reforestación de áreas degradadas en
115 comparación con los métodos de siembra tradicionales. El objetivo principal de este estudio es evaluar la
116 viabilidad y el potencial germinativo de semillas de *T. stans* y *A. acuminata* sometidas a peletización, con
117 el fin de determinar su factibilidad técnica para programas de reforestación en el Parque Nacional
118 Cotacachi-Cayapas.

119

120 **Materiales y Métodos**

121

122 La investigación se desarrolló en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra
123 (PUCE-I), utilizando semillas de cholán (*Tecoma stans*) y aliso (*Alnus acuminata*) recolectadas en las
124 provincias de Imbabura, Carchi y Pichincha, adquiridas en el vivero Polylepis. Para los tratamientos
125 químicos se empleó sucrosa grado USP (United States Pharmacopeia); ácido giberélico (AG₃), CAS 77-
126 06-5, siendo utilizado bajo la forma de reactivo de grado analítico con pureza de $\geq 90-95$ %. El
127 compuesto se presenta como polvo cristalino blanco con rotación específica de $+77^\circ$ a $+82^\circ$ (20 °C,
128 metanol) y punto de fusión cercano a 225 °C. El reactivo se almacena en envases herméticos, en
129 ambiente seco y protegido de luz, y manipulado acorde las guías de seguridad establecidas en la MSDS
130 del producto; y nitrato de potasio (KNO₃). Los materiales del sustrato de peletización, incluyen tierra
131 negra, pómina, hidrogel, arcilla y goma arábiga (Cordero, S et al, 2016). Dichos materiales fueron
132 provistos por el vivero Polylepis. Los ensayos de germinación se realizaron en las cámaras de la
133 Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra (PUCE-I). El procesamiento de las semillas y la
134 elaboración de los pellets se efectuó mediante una peletizadora y un procesador fabricados por Industrias
135 JMM, siguiendo la metodología propuesta por Pedrini S, et al, 2023(b) adaptada al contexto ecuatoriano.

136

137 **Fase 1: Evaluación de tratamientos pregerminativos**

138

139 Siguiendo el enfoque de Pedrini et al. (2020) para la mejora de semillas forestales, se evaluó el
140 porcentaje de germinación previo a la peletización mediante un diseño completamente al azar (DCA). Se
141 establecieron tres tratamientos por cada especie, con tres repeticiones cada uno, donde cada unidad
142 experimental consistió en 100 semillas (N=300 por tratamiento). Los tratamientos evaluados fueron: T1:

143 Sucrosa al 1.5% (p/v) por 48 h; T2: Nitrato de potasio (KNO₃) al 1.5% (p/v) por 48 h; T3: Ácido giberélico
144 (GA₃) a 200 mg·L⁻¹ por 48 h.

145

146 **Preparación de soluciones**

147

148 Para las soluciones de sucrosa y KNO₃ al 1.5% (p/v), se pesaron 0.18 g de cada soluto en una balanza
149 analítica de alta precisión y fueron disueltos en agua destilada hasta alcanzar un volumen final de 12 mL.

150 Para el tratamiento T3 (GA₃), se pesaron 2.4 mg del compuesto; debido a su naturaleza hidrofóbica, el
151 polvo se disolvió inicialmente en etanol gota a gota hasta obtener una solución transparente,
152 completando posteriormente el volumen a 12 mL con agua destilada.

153 Protocolo y condiciones de germinación

154 Las semillas tratadas fueron incubadas en cámaras de germinación a una temperatura constante de 25
155 °C, con una humedad relativa del 85–95% y un fotoperiodo de 12–14 h, con un periodo de observación
156 de 30 días para *A. acuminata* y 20 días para *T. stans* (ISTA, 2021). El registro de germinación se realizó
157 cada 5 días. La variable principal a tomar en cuenta fue el Porcentaje de Germinación (PG), calculado
158 como $PG = (n/N) \times 100$, donde n es el número de semillas germinadas y N el total de semillas sembradas.

159 Análisis estadístico

160 Para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de promotores de crecimiento sobre el
161 porcentaje de germinación de las semillas, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico
162 secuencial. Previo a la comparación de tratamientos, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
163 para verificar el cumplimiento del supuesto de distribución normal de la variable respuesta, condición
164 necesaria para el uso de métodos paramétricos. Una vez validada la normalidad de los datos, se realizó
165 un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con el objetivo de determinar la existencia de diferencias
166 estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Posteriormente, cuando el ANOVA
167 indicó un efecto significativo del tratamiento, se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de
168 Tukey al 5 % de probabilidad, a fin de identificar y discriminar específicamente las diferencias entre
169 tratamientos, minimizando el error tipo I asociado a comparaciones múltiples. Con el fin de establecer en
170 qué provincia podemos encontrar le mejor semilla.

171

172 **Fase 2: Formulación y proceso de peletización**

173

174 Con los resultados antes obtenidos, se procedió a la fase de peletización siguiendo los principios
175 recomendados por Pedrini et al., 2023(b) y modificados para las especies seleccionadas. Se evaluaron
176 tres formulaciones de sustrato en unidades experimentales de 100 seedballs por especie: T1: 40 % tierra
177 negra, 30 % arcilla, 20 % pómina, 10 % hidrogel; T2: 30 % tierra negra, 25 % arcilla, 40 % pómina, 5 %
178 hidrogel; T3: 35 % tierra negra, 35 % arcilla, 20 % pómina, 10 % hidrogel.

179 Los materiales sólidos se prepararon mediante secado (tierra negra a ≤ 50 °C; arcilla y pómina al aire a <
180 20 °C), tamizado (mallas de 2.0 a 1.0 mm) y molienda hasta alcanzar una granulometría de 0.25 mm. Las
181 semillas de la Fase 1 se recubrieron con las mezclas y goma arábica como aglutinante. Los pellets
182 resultantes se secaron durante 48 h a temperatura ambiente y se almacenaron en condiciones de baja
183 humedad hasta su evaluación de germinación post-peletización siguiendo el mismo protocolo de la Fase
184 1.

185

186 **Análisis estadístico:**

187

188 El análisis de los datos correspondientes al porcentaje de germinación de seedballs bajo diferentes
189 concentraciones de sustratos, empleó una secuencia de pruebas estadísticas paramétricas con el fin de
190 garantizar la validez de los resultados. Previamente, se evaluó el cumplimiento de los supuestos de
191 normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene,
192 respectivamente, dado que ambas condiciones son requisitos fundamentales para la aplicación del
193 análisis de varianza. Una vez verificados estos supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de
194 una vía para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos
195 evaluados. Cuando el ANOVA mostró efectos significativos ($p < 0,05$), se aplicó la prueba de
196 comparación múltiple de Tukey al 5% para identificar y agrupar los tratamientos según su
197 comportamiento en germinación. Este enfoque permitió una evaluación estadística robusta y reproducible
198 del efecto de las distintas formulaciones de sustrato sobre la germinación de las seedballs.

199

200 **Fase 3: Evaluación de supervivencia y establecimiento en campo**

201

202 La fase de campo se desarrolló en el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, en tres pisos altitudinales
203 (3430, 2930 y 2430 m s. n. m.) ya que mantienen las condiciones climáticas y edáficas idóneas para las
204 especies, además de estar dentro del plan de manejo ambiental del parque (Gómez, E et al, 2020), con el
205 objetivo de evaluar el desempeño de las seedballs bajo condiciones ambientales naturales siguiendo los
206 principios recomendados por Pedrini et al., 2023(b) y modificados para la zona de estudio. En cada piso
207 altitudinal se establecieron dos parcelas una para *Tecoma stans* y otra para *Alnus acuminata*, con una
208 superficie de 10 × 10 m, conformando un total de seis parcelas experimentales (Palma, A et al, 2020). En
209 esta etapa se utilizaron exclusivamente las seedballs correspondientes al mejor tratamiento seleccionado
210 en la Fase II, a fin de validar su efectividad en escenarios reales de restauración ecológica. La dispersión
211 de las seedballs se realizó bajo innovación tecnológica “drones forestales”, siguiendo un patrón de
212 distribución aleatorio y asegurando una densidad uniforme dentro de cada parcela. En cada área de
213 estudio se dispersaron 429 seedballs de *A. acuminata* y 429 seedballs de *T. stans*, utilizándose un total
214 de 1287 seedballs por especie en toda la fase de campo.

215 Posterior a esto, se realizó un monitoreo periódico, cuya frecuencia se ajustó en función de las tasas de
216 germinación observadas y de las condiciones climáticas registradas en cada sitio. La evaluación del

217 establecimiento inicial se llevó a cabo mediante el conteo directo de las seedballs germinadas, a partir del
 218 cual se calculó la tasa de supervivencia como indicador de éxito del tratamiento en campo, empleando la
 219 siguiente expresión: Tasa de supervivencia (%) = (número de seedballs germinadas / número de
 220 seedballs dispersadas) × 100. Este enfoque permitió cuantificar de manera objetiva la respuesta de
 221 ambas especies y evaluar la efectividad de la tecnología de seedballs en procesos de restauración
 222 ecológica bajo diferentes condiciones altitudinales.

223

224 Resultados

225 Fase 1

226 **Tabla 1.** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianza de Levene

Variable	Observaciones	Promedio	Desviación estandar	Shapiro-test		Levene-test	
				V	P-Value	F	P-Value
Porcentaje de germinación	18	34,630	17,231	0,963	0,097	0,989	0,976

227 La prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) determinó que la variable porcentaje de germinación, los residuos siguen una distribución
 228 Normal; puesto que el p-value calculado es mayor que $p > 0,05$. Así mismo la prueba de homogeneidad de varianzas (Levene-test);
 229 determinó que los residuos son heterocedásticos

230 **Tabla 2.** Análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación (%)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadros medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	17	11060,83	650,64	19,42	0,00	***
Total corregido	53	12266,83				
Tratamiento	17	11060,83	650,64	19,42	0,00	***
Error	36	1206,00	33,50			

231 Nota. Calculado contra el modelo $Y = \text{Media}(Y)$

232 Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

233 Promedio (%) 34,63

234 CV (%) 16,71

235

236 Luego del análisis de varianza de la variable, porcentaje de germinación (%) [tabla 2], se determina, que
 237 existe diferencia altamente significativa entre tratamientos. Los valores, del promedio de germinación de
 238 los tratamientos fue de 34,63%; así también el coeficiente de variación fue de 16,71%; lo que indica que
 239 existe una alta dispersión de los datos respecto del valor promedio.

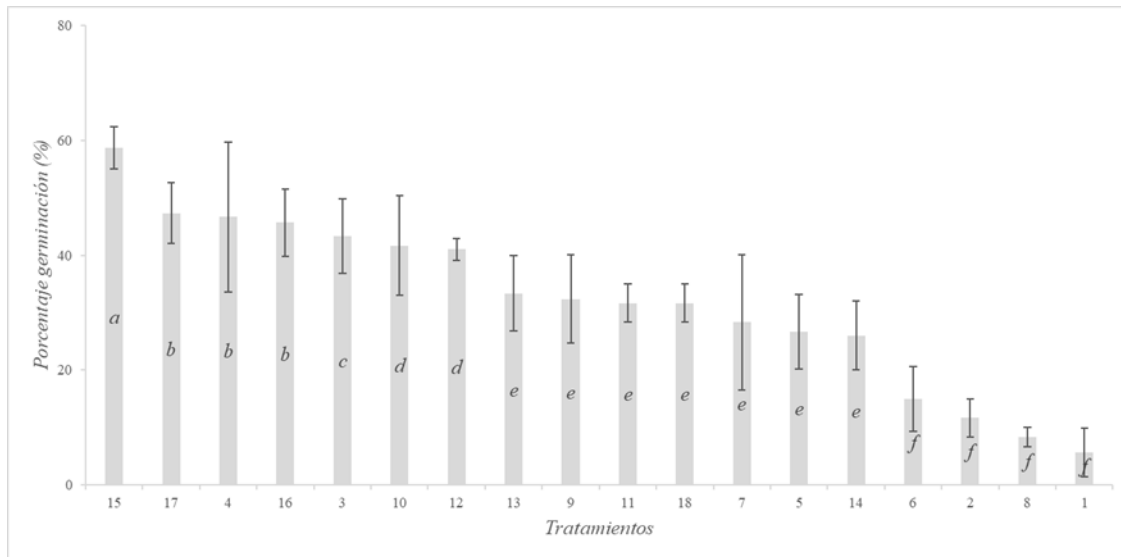


Figura 1. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable porcentaje de germinación.

Nota. Autoría propia

240
 241
 242
 243
 244 Con la prueba de Tukey al 5% de la variable porcentaje de germinación, se determinó que existe seis
 245 rangos de significancia. El tratamiento con mayor porcentaje de semillas germinadas, es la especie
 246 forestal *A. acuminata*, la misma que fue recolectada en la provincia de Pichincha con un pre tratamiento
 247 germinativo de AG3 a 200 mg.L-1, dando un valor en la germinación de 58,67%. En la categoría b se
 248 encuentra el tratamiento 17 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue recolectada en la
 249 provincia de Pichincha con un pre tratamiento germinativo de KNO3 a 1.5%; el tratamiento 4 que
 250 corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue recolectada en la provincia de Imbabura con un pre
 251 tratamiento germinativo de sucrosa a 1.5%; el tratamiento 16 que corresponde a la especie forestal *T.*
 252 *stans*, que fue recolectada en la provincia de Pichincha con un pre tratamiento germinativo de sucrosa a
 253 1.5%. En la categoría c se encuentra el tratamiento 3 que corresponde a la especie forestal *A. acuminata*,
 254 que fue recolectada en la provincia de Imbabura con un pre tratamiento germinativo de AG3 a 200 mg.L-
 255 1. En la categoría d se encuentra el tratamiento 10 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que
 256 fue recolectada en la provincia de Carchi con un pre tratamiento germinativo de sucrosa a 1.5%; el
 257 tratamiento 12 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue recolectada en la provincia de
 258 Carchi con un pre tratamiento germinativo de AG3 a 200 mg.L-1. En la categoría e se encuentra el
 259 tratamiento 13 que corresponde a la especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de
 260 Pichincha con un pre tratamiento germinativo de sucrosa a 1.5%; el tratamiento 9 que corresponde a la
 261 especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de Carchi con un pre tratamiento
 262 germinativo de AG3 a 200 mg.L-; el tratamiento 11 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que
 263 fue recolectada en la provincia de Carchi con un pre tratamiento germinativo de KNO3 a 1.5%; el
 264 tratamiento 18 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue recolectada en la provincia de
 265 Pichincha con un pre tratamiento germinativo de AG3 a 200 mg.L-1; el tratamiento 07 que corresponde a
 266 la especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de Carchi con un pre tratamiento

267 germinativo de sucrosa a 1.5%; el tratamiento 5 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue
 268 recolectada en la provincia de Imbabura con un pre tratamiento germinativo de KNO3 a 1.5%; el
 269 tratamiento 14 que corresponde a la especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de
 270 Pichincha con un pre tratamiento germinativo de KNO3 a 1.5%; En la categoría f se encuentra el
 271 tratamiento 6 que corresponde a la especie forestal *T. stans*, que fue recolectada en la provincia de
 272 Imbabura con un pre tratamiento germinativo de AG3 a 200 mg.L-1; el tratamiento 2 que corresponde a la
 273 especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de Imbabura con un pre tratamiento
 274 germinativo de KNO3 a 1.5%; el tratamiento 8 que corresponde a la especie forestal *A. acuminata*, que
 275 fue recolectada en la provincia de Carchi con un pre tratamiento germinativo de KNO3 a 1.5 %; el
 276 tratamiento 1 que corresponde a la especie forestal *A. acuminata*, que fue recolectada en la provincia de
 277 Imbabura con un pre tratamiento germinativo de sucrosa a 1.5 %.

278

279 **Fase 2**

280

281 **Tabla 3.** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianza de Levene

Variable	Observaciones	Promedio	Desviación estandar	Shapiro-test		Levene-test	
				W	P-Value	F	P-Value
Porcentaje de germinación	18	30.5	20,946	0,9432	0,285	0,3478	0,8740

282 Nota. Autoría propia

283

284 Luego de realizada la prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) se determinó que la variable porcentaje de
 285 germinación, los residuos siguen una distribución Normal; puesto que el p-value calculado es mayor que
 286 $p > 0,05$. Así mismo la prueba de homogeneidad de varianzas (Levene-test); determinó que los residuos
 287 son heterocedásticos.

288

289 **Tabla 4.** Análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación (%)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadros medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	5	7366,500	1473,300	192,170	<0,0001	***
Total corregido	17	7458,500				
Tratamiento	5	7366,5	1473,3	192,170	<0,0001	***
Error	12	92,000	7,667			

290 Nota. Autoría propia

291 Nota. Calculado contra el modelo $Y = \text{Media}(Y)$

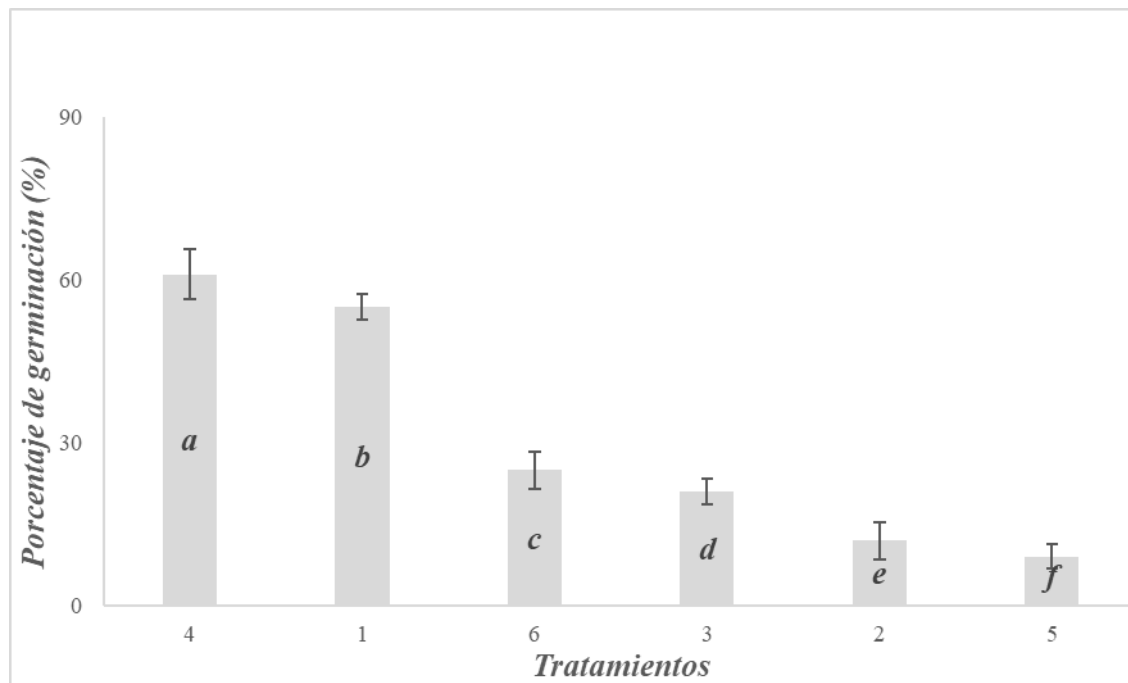
292 Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

293 Promedio (%) 30.50

294 CV (%) 9.078

295
296 Con el análisis de varianza de la variable, porcentaje de germinación (%) [tabla 2], se determina, que
297 existe diferencia altamente significativa entre tratamientos. Los valores, del promedio de germinación de
298 los tratamientos fue de 30,50%; así también el coeficiente de variación fue de 9,078%; lo que indica que
299 existe una alta dispersión de los datos respecto del valor promedio.

300 .



301
302 **Figura 2.** Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable porcentaje de germinación en seedballs
303 Nota. Autoría propia
304

305 Posteriormente a la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % para la variable porcentaje de
306 germinación de seedballs obtenidas mediante la técnica de peletización, se determinó la existencia de
307 seis rangos de significancia estadística entre los tratamientos evaluados (Figura 2). El tratamiento con el
308 mayor porcentaje de seedballs germinadas fue el tratamiento 4, correspondiente a la concentración de 40
309 % tierra negra / 30 % arcilla / 20 % pomina / 10 % hidrogel en la especie forestal *T. stans*, alcanzando un
310 valor de germinación de 61 %. En la categoría b se ubicó el tratamiento 1, con la concentración de 40 %
311 tierra negra / 30 % arcilla / 20 % pomina / 10 % hidrogel aplicado a la especie forestal *A. acuminata*,
312 registrando un porcentaje de germinación de 55 %. En la categoría c se encontró el tratamiento 6,
313 correspondiente a la concentración de 35 % tierra negra / 35 % arcilla / 20 % pomina / 10 % hidrogel en la
314 especie forestal *T. stans*, con un valor de germinación de 25 %. En la categoría d se ubicó el tratamiento
315 3, con la concentración de 35 % tierra negra / 35 % arcilla / 20 % pomina / 10 % hidrogel aplicado a la
316 especie forestal *A. acuminata*, alcanzando un porcentaje de germinación de 21 %. Finalmente, en los

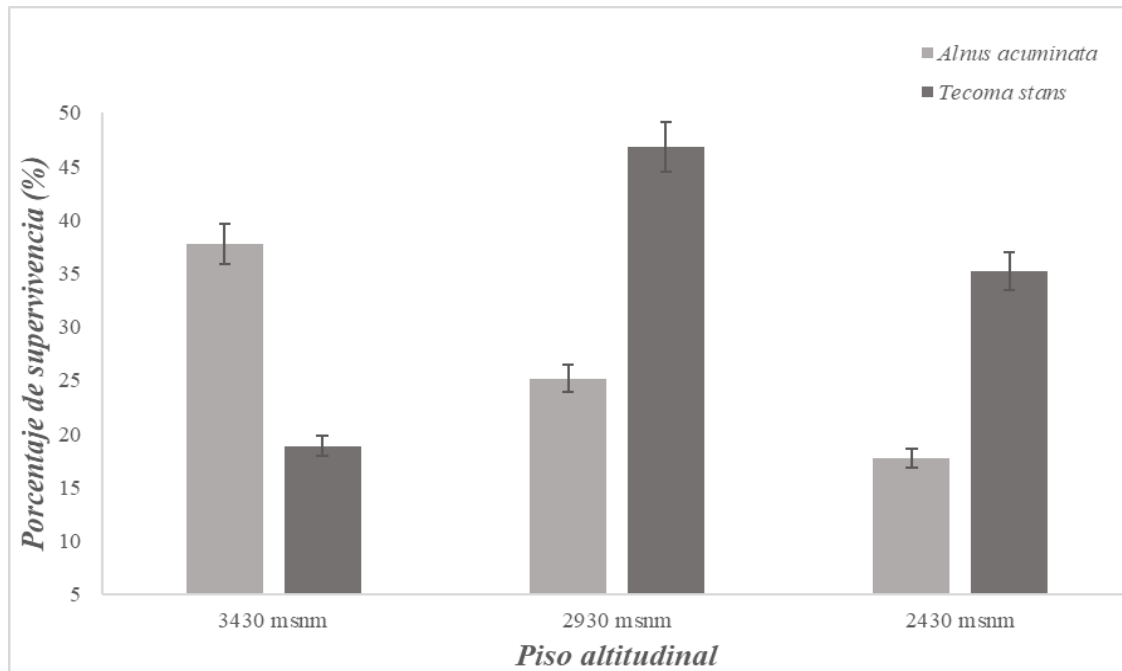
317 rangos de menor significancia se registraron el tratamiento 2, correspondiente a la concentración de 30 %
318 tierra negra / 25 % arcilla / 40 % pomina / 5 % hidrogel en *A. acuminata*, con 12 % de germinación, y el
319 tratamiento 5, con la misma formulación aplicada a *T. stans*, con un valor de 9 %.

320

321 Fase 3

322

323 De acuerdo a la figura 2 el mejor tratamiento fue la concentración del tratamiento 4 tanto para *Alnus*
324 *acumianta* como para *Tecoma stans*.



325

326 **Figura 3.** Supervivencia de semillas encapsuladas (seedballs) expresadas en porcentaje según diferentes pisos altitudinales

327

Nota. Autoría propia

328

329 En la Figura 3 se presentan los porcentajes de supervivencia de las seedballs registrados durante la fase
330 de campo en los diferentes pisos altitudinales evaluados. A 3430 m s. n. m. se registró una supervivencia
331 del 37,76 % para *Alnus acuminata* y del 18,88 % para *Tecoma stans*. En el piso altitudinal de 2930 m s. n.
332 m., la supervivencia registrada fue de 27,17 % para *A. acuminata* y de 46,85 % para *T. stans*. Finalmente,
333 a 2430 m s. n. m., *A. acuminata* presentó una supervivencia del 17,72 % y *T. stans* del 35,20 %.

334

335 Discusión

336

337 La efectividad de los tratamientos pregerminativos en especies nativas es fundamental para garantizar el
338 éxito de la restauración en ecosistemas altoandinos degradados (Pedrini S, et al, 2018). En la Figura 1
339 podemos observar que los dos tratamientos con mejores resultados fueron semillas provenientes de la

340 provincia de Pichincha tanto para *A. acuminata* como para *T. stans*, No hay datos publicados en el
341 conjunto suministrado que expliquen de forma directa por qué semillas de Pichincha se comportaron
342 mejor que las de Carchi e Imbabura (Aguirre M, 2007). Sin embargo, se menciona brevemente las
343 poblaciones de que *A. acuminata* de Pichincha se desarrollan bajo condiciones de mayor precipitación y
344 humedad edáfica, lo que favorece la producción de semillas con menor latencia fisiológica profunda y
345 mayor sensibilidad a reguladores de crecimiento (Aguirre, N et al, 2017). Para *Alnus acuminata*, el
346 tratamiento con ácido giberélico (AG₃) se justifica por la naturaleza recalcitrante de la semilla, la cual
347 pierde viabilidad rápidamente y posee una testa esclerosada que actúa como barrera física (Fournier, L
348 2002). Las giberelinas actúan en sinergia con otros promotores para optimizar la homeostasis hormonal,
349 acelerar la ruptura de la latencia y fortalecer el vigor del embrión frente a las restricciones mecánicas
350 propagación (Pedrini, S et al, 2018). Por su parte, para *Tecoma stans*, el uso de nitrato de potasio (KNO₃)
351 es el tratamiento ideal debido a que esta especie desarrolla latencia secundaria ante regímenes térmicos
352 adversos. Los iones de nitrato actúan modulando las rutas de señalización del ácido abscísico (ABA) y
353 estimulando enzimas hidrolíticas como la α -amilasa, lo que reactiva el metabolismo basal y asegura una
354 emergencia sincrónica necesaria para la producción masiva en viveros destinados a la estabilización de
355 suelos (Borah, R et al, 2024).

356 Se puede observar que, el ácido giberélico (AG₃) a 200 mg·L⁻¹ fue el pretratamiento germinativo más
357 efectivo, seguido por KNO₃ al 1,5 % con un efecto intermedio, mientras que la sacarosa al 1,5 % presentó
358 el menor impacto general sobre el porcentaje de germinación (Stock, E et al, 2020).

359 A partir de los resultados obtenidos en la Fase 1, el análisis estadístico permitió identificar los
360 tratamientos que generaron los mayores porcentajes de germinación en las especies evaluadas (Figura
361 1). En este contexto, *Alnus acuminata* presentó su mejor respuesta germinativa con la aplicación de ácido
362 giberélico (AG₃) a 200 mg·L⁻¹, mientras que *Tecoma stans* alcanzó su mayor porcentaje de germinación
363 con el pretratamiento de nitrato de potasio (KNO₃) al 1,5 %. Ambas especies de la provincia de
364 Pichincha. Con base en estos resultados, y considerando la necesidad de continuar el estudio con el
365 material vegetal de mayor porcentaje de germinación, las semillas tratadas bajo estas condiciones fueron
366 seleccionadas para la Fase 2, en la cual se sometieron al proceso de peletización para evaluar su
367 desempeño posterior.

368 En ambas especies evaluadas, *Alnus acuminata* y *Tecoma stans*, se observó que el tratamiento 1
369 presentó los mayores porcentajes de germinación, tal como se muestra en la Figura 2, superando de
370 manera consistente al resto de formulaciones de seedballs. Este comportamiento sugiere que la mezcla
371 compuesta por 40 % tierra negra, 30 % arcilla, 20 % pomina y 10 % hidrogel generó un entorno físico y
372 biológico favorable para la emergencia de las plántulas.

373 El desempeño superior de esta formulación puede explicarse por el equilibrio entre protección mecánica y
374 permeabilidad del pellet. Estudios previos han demostrado que pellets elaborados exclusivamente con
375 arcilla o tierra negra tienden a presentar una alta compactación y endurecimiento tras el secado, lo que
376 incrementa la resistencia mecánica y dificulta la emergencia de la radícula y el hipocótilo (Vargas-

377 Figueroa et al, 2018). En contraste, la incorporación de 20 % de pomina en este estudio actuó como un
378 agente de aireación, reduciendo la compactación de la matriz arcillosa y generando una estructura porosa
379 que permitió el intercambio gaseoso sin comprometer la integridad del seedball. Este tipo de “dureza
380 intermedia” ha sido señalada como un factor clave para asegurar la emergencia de la plántula sin perder
381 la función protectora frente a la radiación solar o la depredación (Moreno, A et al, 2025).

382 La inclusión de 30 % de tierra negra contribuyó adicionalmente a la formación de un microambiente
383 nutritivo y biológicamente activo alrededor de la semilla. Si bien algunos estudios reportan efectos
384 negativos del uso de tierra negra en especies con alta sensibilidad a patógenos o exceso de humedad
385 (Nwankwo, C 2019), en el caso de *A. acuminata*, una especie pionera con marcada dependencia de
386 interacciones microbianas, este componente favoreció el establecimiento inicial de la plántula. Además, el
387 aporte gradual de materia orgánica evitó los efectos adversos asociados al uso de fertilizantes sintéticos
388 en etapas tempranas, los cuales han sido relacionados con reducción en la emergencia y toxicidad
389 radicular cuando se aplican en exceso (Nwankwo, C 2019) (Ochoa, A et al, 2022).

390 Un elemento determinante en el éxito del tratamiento fue la incorporación de 10 % de hidrogel, cuya
391 función como reservorio hídrico resulta particularmente relevante en condiciones de alta evaporación y
392 variabilidad hídrica, como las presentes en los Andes ecuatorianos. A diferencia de recubrimientos
393 basados en polisacáridos vegetales utilizados en sistemas forestales de climas templados (Kopytkov, V
394 2021), el hidrogel permitió una disponibilidad progresiva de agua en el entorno inmediato de la semilla,
395 reduciendo el estrés hídrico durante la imbibición y la emergencia. Esta condición, combinada con la
396 porosidad generada por la pomina, disminuyó el riesgo de hipoxia y de fallas asociadas a una “siembra
397 efectiva demasiado profunda”, problemática reportada en pellets excesivamente densos en otras
398 especies forestales (Harshani, H 2024);(Stock, E et al, 2020).

399 En conjunto, la proporción 40/30/20/10 permitió resolver el compromiso clásico entre resistencia
400 estructural del pellet y capacidad de emergencia de la plántula. Mientras la arcilla aseguró la cohesión y
401 estabilidad del seedball, la pomina y el hidrogel evitaron que dicha estructura se transformara en una
402 barrera mecánica, favoreciendo la emergencia exitosa de semillas pequeñas y fisiológicamente sensibles
403 como las de *Alnus acuminata* y *Tecoma stans*.

404 Una vez con el mejor tratamiento pregerminativo y la formulación con mejores resultados para los pellets,
405 se procedió a realizar la dispersión en capo. Donde, como se observa en la Figura 3 *Alnus acuminata*
406 registró mayor porcentaje de supervivencia a 3430 msnm lo cual concuerda con su distribución natural en
407 bosques montanos y nublados que superan los 3000 msnm (Gómez, E et al, 2020). Este comportamiento
408 puede estar asociado a la capacidad de la especie para establecer relaciones simbióticas con hongos
409 ectomicorrícicos, cuya abundancia y actividad suelen incrementarse en ecosistemas de alta montaña,
410 favoreciendo tanto el crecimiento vegetal como la recuperación de la fertilidad del suelo mediante
411 procesos de fijación biológica de nitrógeno (Gómez, E et al, 2020). Por el contrario, *Tecoma stans*,
412 presentó un mayor número de supervivencia a 2930 msnm, lo que coincide con su reconocida plasticidad
413 ecológica y su tolerancia a condiciones variables. Es menester mencionar que existieron semillas

414 extraviadas en las parcelas con una evaluación visual de presencia de depredadores, sin embargo, este
415 estudio no está enfocado a ese tema.

416 Los porcentajes de germinación obtenidos en la fase de campo, se ubican dentro de rangos altos en
417 comparación con estudios previos de siembra directa y restauración en bosques secundarios. Estos
418 valores superan ampliamente los reportados para semillas expuestas, donde la germinación suele oscilar
419 entre 6 y 16 %, y se aproximan a los registrados para semillas enterradas o protegidas, que alcanzan
420 alrededor del 27 % (Patade, V et al, 2025) ;(Joyce, F et al, 2024). En particular, el comportamiento de *T.*
421 *stans* resulta comparable al de semillas establecidas en parcelas con exclusión de depredadores, donde
422 se ha documentado una supervivencia cercana al 46,3 % (Joyce, F et al, 2024), lo que sugiere que el uso
423 de seedballs actuó como un mecanismo de protección parcial frente a las condiciones adversas del
424 ambiente. No obstante, la elevada desaparición de seedballs registrada (257 en *A. acuminata* y 150 en *T.*
425 *stans*) es consistente con lo reportado en la literatura, donde la remoción por depredadores constituye la
426 principal causa de pérdida en ensayos de restauración, alcanzando entre 65 y más del 70 % de las
427 semillas en periodos cortos (Patade, V et al, 2025) ;(Cassin, C 2016) ;(Carlin, T et al, 2024). En este
428 contexto, la ausencia de restos visibles suele interpretarse como consumo por vertebrados o
429 invertebrados, especialmente roedores, lo cual coincide con las evidencias observacionales registradas
430 en el área de estudio (Patade, V et al, 2025) ;(L. Silvi et al, 2020) ;(ITSA. 2021).

431 En conjunto, estos resultados indican que, aun bajo una alta presión de depredación, las seedballs
432 permitieron niveles de establecimiento comparables a sistemas de siembra protegida, siendo este efecto
433 más marcado en *Tecoma stans*. Declarando que las semillas de la provincia de Pichincha son óptimas
434 para estandarizar los árboles plus de donde son provenientes y utilizarla en otros proyectos a nivel
435 nacional ya que hubo resultados en los diferentes pisos altitudinales, pero con mayor relevancia para
436 *Alnus acuminata* en la de mayor altitud y de *Tecoma stans* en la altitud media.

437

438 Conclusiones

439

440 A partir de la información recabada durante el desarrollo de la investigación se pudieron obtener las
441 siguientes conclusiones:

442 Las semillas provenientes de árboles plus seleccionados en la provincia de Pichincha presentaron las
443 mejores condiciones de viabilidad y potencial germinativo en comparación con las recolectadas en las
444 provincias de Imbabura y Carchi. Estos resultados evidencian la influencia del origen del material vegetal
445 en la calidad fisiológica de las semillas y en su aptitud para ser utilizadas en procesos de peletización.

446 En función de esta mayor viabilidad, el material vegetal procedente de Pichincha fue seleccionado para
447 su replicación y validación en las fases de campo, las cuales se desarrollaron dentro del Parque Nacional
448 Cotacachi-Cayapas. Esta decisión permitió evaluar el comportamiento real de las semillas peletizadas en
449 condiciones ambientales propias de ecosistemas andinos.

450 En cuanto a los tratamientos pregerminativos, se determinó que el ácido giberélico (AG₃) a una
451 concentración de 200 mg·L⁻¹ constituye el pretratamiento más efectivo para estimular la germinación de
452 semillas de aliso (*Alnus acuminata*), mientras que para el cholán (*Tecoma stans*) el tratamiento con
453 nitrato de potasio (KNO₃) al 1,5 % mostró los mejores resultados. Esto confirma la necesidad de aplicar
454 tratamientos diferenciados según la especie forestal.

455 La formulación de peletización que presentó un mejor desempeño estuvo compuesta por una mezcla de
456 40 % de tierra negra, 30 % de arcilla, 20 % de pómina y 10 % de hidrogel. Dicha formulación permitió
457 alcanzar un equilibrio adecuado entre protección mecánica, retención de humedad y permeabilidad,
458 logrando porcentajes de germinación del 61 % en cholán y del 55 % en aliso.

459 Asimismo, la aplicación de la tecnología de seedballs demostró ser una alternativa técnicamente viable
460 para procesos de restauración ecológica, alcanzando niveles de supervivencia en campo de hasta 46,85
461 % para cholán a 2930 m s. n. m. y de 37,76 % para aliso a 3430 m s. n. m. Estos resultados evidencian el
462 potencial de esta tecnología para su implementación en distintos pisos altitudinales de la región andina,
463 contribuyendo a estrategias innovadoras de reforestación y recuperación de ecosistemas degradados.

464 No obstante, el estudio presentó ciertas limitaciones. Entre ellas se destacan la disponibilidad de fondos
465 económicos, el número restringido de procedencias evaluadas, la duración relativamente corta del
466 monitoreo en campo y la ausencia de un seguimiento a largo plazo que permita analizar el crecimiento, la
467 adaptación y la estabilidad estructural de las plántulas establecidas. Además, factores ambientales no
468 controlables, como variaciones microclimáticas, presión de herbivoría y heterogeneidad del suelo,
469 pudieron influir en los porcentajes de supervivencia registrados.

470 En este contexto, para futuras investigaciones se propone gestionar mayores recursos financieros que
471 permitan ampliar la escala del estudio como en ampliar el número de especies forestales evaluadas,
472 incorporar análisis genéticos que permitan correlacionar procedencia y desempeño fisiológico, y extender
473 el monitoreo a mediano y largo plazo para evaluar parámetros de crecimiento, biomasa y resiliencia.
474 Asimismo, sería pertinente realizar estudios comparativos de costo-beneficio frente a métodos
475 tradicionales de siembra, así como ensayar mejoras en las formulaciones de peletización que incorporen
476 bioestimulantes, micorrizas o consorcios microbianos que potencien el establecimiento inicial.

477 En conjunto, los resultados obtenidos constituyen una base científica sólida para fortalecer estrategias de
478 restauración ecológica en ecosistemas andinos, aunque su consolidación requiere continuidad
479 investigativa, validación a mayor escala y articulación institucional para su implementación sostenida.

480

481 **Agradecimientos**

482

483 Los autores expresan su agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra por
484 el apoyo institucional y las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación, así como por
485 permitir el uso de sus instalaciones y recursos técnicos durante la ejecución del estudio.

486

487 **Conflicto de intereses**

488 Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con la presente investigación.

489

490 **Referencias**

491

492 Aguirre Mendoza, N. (2007). Silvicultural contributions to the reforestation with native species in
493 the tropical mountain rainforest region of South Ecuador. [Disertación Doctoral, Technische
494 Universität München]. Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung

495 Aguirre, N., et al. (2017). Potential impacts to dry forest species distribution under two climate
496 change scenarios in southern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 18–29.

497 Alfonzetti, M., Tetu, S. G., Mills, C. H., et al. (2022). Assessing the efficacy of extruded seed
498 pellets and microbial amendments for native revegetation. *Restoration Ecology*, 31(2), e13857.
499 Disponible en: <https://doi.org/10.1111/rec.13857>

500 Borah, R., Malngiang, L., Upadhaya, K., & Choudhary, H. (2024). Seed dormancy, viability and
501 germination of *Illicium griffithii*: A threatened medicinal plant of northeast India. *Journal of the*
502 *Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(3), 160–167.
503 <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.10.005>

504 Carlin, T., Paul, T., Dudenhoefler, J., Rolando, C., Novoselov, M., Vorster, R., Springford, C., &
505 Scott, M. (2024). The enemy of my enemy... Exotic mammals present biotic resistance against
506 invasive alien conifers. *Biological Invasions*, 26, 2647–2662. [https://doi.org/10.1007/s10530-024-](https://doi.org/10.1007/s10530-024-03336-z)
507 [03336-z](https://doi.org/10.1007/s10530-024-03336-z)

508 Cassin, C., & Kotanen, P. (2016). Invasive earthworms as seed predators of temperate forest
509 plants. *Biological Invasions*, 18, 1567–1580. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1101-x>

510 Cordero, S. R. A., & Di Stéfano, G. J. F. (2016). Efecto del estrés osmótico sobre la germinación
511 de semillas de *Tecoma stans* (Bignoniaceae). *Revista de Biología Tropical*, 39(1). Disponible en:
512 <https://doi.org/10.15517/RBT.V39I1.24836>

513 Dronecoria. (2023). Open Source Aerial Reforestation: Seedball formulation and processing
514 guide. Dronecoria Project.

515 Fournier, L. A. (2002). *Alnus acuminata* Kunth en H.B.K. En J. A. Vozzo (Ed.), *Manual de*
516 *Semillas de Árboles Tropicales* (pp. 291-292). Departamento de Agricultura de los Estados
517 Unidos.

518 Gómez, E., Arteño, R., & Zavala, M. Reserva ecológica Cotacachi Cayapas en su diversidad
519 climática. *Boletín Redipe*, 2020; 290-301.

520 Harshani, H., Burgess, T., Hardy, G., & Erickson, T. (2024). Extruded seed pelleting offers an
521 alternative direct seeding option to rehabilitate forested ecosystems impacted by a soil-borne
522 plant pathogen. *Ecological Management & Restoration*. <https://doi.org/10.1111/emr.12600>

523 ISTA. (2021). *International Rules for Seed Testing 2021*. International Seed Testing Association,
524 Bassersdorf, Switzerland.

525 Joyce, F., Ramos, B., Zahawi, R., & Holl, K. (2024). Vertebrate seed predation can limit
526 recruitment of later-successional species in tropical forest restoration. *Biotropica*, 56.
527 <https://doi.org/10.1111/btp.13381>

528 Kopytkov, V. (2021). Scientific and practical aspects of innovative technology of pelleted seeds
529 and their use in the national economy. *E3S Web of Conferences*, 254, 07014.
530 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125407014>

531 Lieurance, P., Mills, C., Tetu, S., & Gallagher, R. (2024). Putting seed traits into pellets: Using
532 seed mass data to improve seed encapsulation technology for native plant revegetation. *Journal*
533 *of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14611>

534 L. Silva et al., "Desafíos operativos de la siembra directa en ecosistemas de montaña," *Forestry*
535 *Research & Reviews*, vol. 34, no. 3, pp. 201-215, 2020.

536 Moreno, A., & Amorós, L. La peletización de semillas como estrategia anti-depredación:
537 modulando la depredación de semillas por fauna silvestre en Sierra Nevada. *LatArXiv*. 2025; 1-
538 16.

539 Munro, T., Erickson, T., Nimmo, D., Dadzie, F., Muñoz-Rojas, M., & Price, J. (2024). Exploring
540 the potential of topsoil pellets to improve native seedling establishment on degraded agricultural
541 land. *Plant and Soil*, 502, 417–432. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06554-5>

542 Nwankwo, C. (2019). Seedball technology development for subsistence-oriented pearl millet
543 production systems in Sahelian West Africa.

544 Nwankwo, C., Oumarou, H., Nouri, M., Aminou, A., & Herrmann, L. (2022). Seedball technology
545 enhances pearl millet yield in a Sahelian subsistence production system. *Crop and Pasture*
546 *Science*, 73, 390–400. <https://doi.org/10.1071/CP21158>

547 Ochoa, A., Suárez, E., Ochoa, B., Calle, T., Fuentes, P., Bièvre, B. d., . . . Torres, M. *Buenas*
548 *Prácticas en Conservación y Restauración de Humedales Altoandinos* ed. FONAG, 2021
549 [citado 2026 feb 24] Disponible en: [www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Buenas-](http://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Buenas-Practicas-Conservacion-y-Restauracion-de-HAA-15-11-2021.pdf)
550 [Practicas-Conservacion-y-Restauracion-de-HAA-15-11-2021.pdf](http://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Buenas-Practicas-Conservacion-y-Restauracion-de-HAA-15-11-2021.pdf)

551 Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., & Tucto, A. *Parcelas Permanentes Para Producción de*
552 *Semillas Forestales Nativas: Experiencia en Molinopamba, Amazonas - Peru*. Chachapoyas.

553 Ed. Chachapoyas, 2014 [citado 2026 feb 24] Disponible en:
554 www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1421.pdf

555 Palma, A., Goosem, M., Stevenson, P., & Laurance, S. (2020). Enhancing plant diversity in
556 secondary forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3.
557 <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.571352>

558 Patade, V. Y., Singh, N., Grover, A., & Bala, M. (2025). Effect of pretreatments on seed
559 germination of musk rose (*Rosa moschata* Herrm.). *Journal of Applied Research on Medicinal*
560 *and Aromatic Plants*, 45, 100628.

561 Pedrini, S., Balestrazzi, A., Madsen, M. D., Bhalsing, K., Hardegree, S. P., Dixon, K. W., &
562 Kildisheva, O. A. (2018). Seed enhancement: Getting seeds restoration-ready. *Plant Methods*,
563 14, 80. <https://doi.org/10.1186/s40490-018-0121-y>

564 Pedrini, S., Webber, Z., D'Agui, H. M., et al. (2023). Customise the seeds, not the seeder:
565 Pelleting of small-seeded species for ecological restoration. *Ecological Engineering*, 197,
566 107105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107105>

567 Pedrini S. Pedrini, Z. Webber, H. D'Agui, K. Dixon, M. Just, T. Arya, S. Turner Customise the
568 seeds, not the seeder: pelleting of small-seeded species for ecological restoration *Ecol. Eng.*,
569 196 (2023), Article 107105, 10.1016/j.ecoleng.2023.107105 (b)

570 Saffari, P., Majd, A., Jonoubi, P., & Najafi, F. (2021). Effect of treatments on seed dormancy
571 breaking, seedling growth, and seedling antioxidant potential of *Agrimonia eupatoria* L. *Journal*
572 *of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 20, 100282.

573 Stock, E., Standish, R., Muñoz-Rojas, M., Bell, R., & Erickson, T. (2020). Field-deployed
574 extruded seed pellets show promise for perennial grass establishment in arid zone mine
575 rehabilitation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.576125>

576 Teichroew, E., & Rew, L. (2024). Testing the effects of seed pellet composition to aid in semiarid
577 restoration seeding. *Restoration Ecology*, 33. <https://doi.org/10.1111/rec.14349>

578 Vargas-Figueroa, J. A., & Torres-González, A. M. (2018). Germination and seed conservation of
579 a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Revista*
580 *de Biología Tropical*, 66(2), 918–936. <https://doi.org/10.15517/RBT.V66I2.33423>

581 Weber, M., Günter, S., Palomeque Pesantez, F. X., et al. (2020). Reforestación con especies
582 nativas y exóticas: caso del valle de San Francisco, Zamora Chinchipe. Loja (EC): Universidad
583 Nacional de Loja.

584 Williams, P., Ong, R., Brodie, J., & Luskin, M. (2021). Fungi and insects compensate for lost
585 vertebrate seed predation in an experimentally defaunated tropical forest. *Nature*
586 *Communications*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21978-8>