Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 17 (95)
Mayo - Junio (2026)

DOI: 10.29298/rmcf.v17i95.1625

Artículo de investigación

Selección de árboles semilleros de *Alnus acuminata* Kunth en los Andes del norte peruano

Selection of *Alnus acuminata* Kunth seed trees in the Northern Peruvian Andes

Kely Lizeth Vásquez Saldaña[1]*, Eiler Llatas Mires[2], Jim Jairo Villena Velásquez[1], Leyla Catherine Alarcón Alarcón[1], Yuli Anabel Chávez-Juanito[1], Duberli Geomar Elera Gonzales[2,3]

Fecha de recepción/Reception date: 18 de diciembre de 2025.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de abril de 2026.

[1]Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH). Perú.
[2]Grupo de Investigación en Biometría y Geomática Forestal (BIGFOR), Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú.
[3]Northeast Ecology and Management Research Group (NOREMA), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Ciência Florestal (DCFL), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil.

*Autor para correspondencia; correo-e: 2017031037@unach.edu.pe
*Corresponding author; e-mail: 2017031037@unach.edu.pe

Resumen

La restauración de ecosistemas altoandinos requiere material genético adaptado y trazable para garantizar impactos sostenibles frente al cambio climático. Este estudio tuvo como objetivo identificar y seleccionar árboles semilleros de *Alnus acuminata* con base en atributos fenotípicos en una región de los Andes del norte peruano, a través de criterios morfológicos, dasométricos, sanitarios y de calidad de semillas. Se evaluaron 204 árboles en 18 localidades, se seleccionaron 34 individuos arbóreos semilleros mediante un sistema de puntuación, cuya consistencia fue evaluada con la prueba de rangos con signo de *Wilcoxon* ($p<0.001$). Las semillas presentaron alta calidad física y fisiológica, con pureza promedio de 81.51 % y germinación de 82.64 % y tiempo medio de emergencia de 11 días. El análisis de conglomerados *K*-medias ($K=3$) y ANOVA ($p<0.001$) identificaron tres grupos fenotípicos diferenciados en tamaño y volumen, lo que permite definir clases productivas con aplicación en programas de restauración y mejoramiento genético. Las correlaciones entre germinación y variables ambientales fueron bajas, lo que sugiere influencia limitada de estos factores. Estos hallazgos validan la consistencia del criterio de selección y evidencian el potencial de los árboles semilleros para producir material forestal de reproducción (MFR) con trazabilidad y calidad homogénea, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de los bosques andinos.

Palabras clave: Árboles semilleros, calidad de semilla, características morfológicas, criterios de selección, mejora genética, variabilidad fenotípica.

Abstract

The restoration of high-Andean ecosystems requires adapted and traceable genetic material to ensure sustainable outcomes under climate change. The study aimed to identify and select *Alnus acuminata* seed trees based on phenotypic attributes in a region of the northern Peruvian Andes, using morphological, dendrometric, health and seed-quality criteria. A total of 204 trees were assessed across 18 locations, and 34 seed trees were selected using a scoring system; whose consistency was evaluated with the Wilcoxon signed-rank test ($p<0.001$). The seeds exhibited high physical and physiological quality, with an average purity of 81.51 %, a germination rate of 82.64 %, and an average emergence time of 11 days. K-means cluster analysis ($K=3$) and ANOVA ($p<0.001$) identified three phenotypically distinct groups based on size and volume, enabling the definition of productive classes applicable to restoration and genetic improvement programs. Correlations between germination and environmental variables were low, suggesting a limited influence of this factors. These findings confirm the reliability of the selection criteria and demonstrate the potential the selected seed trees to provide traceable forest reproductive material (FRM) of consistent quality, thereby contributing to the sustainability and resilience of Andean forests.

Keywords: Seed trees, seed quality, morphological characteristics, selection criteria, genetic improvement, phenotypic variability.

Introducción

Las semillas constituyen un recurso fundamental para los programas de restauración ecológica y reforestación, ya que la calidad genética y fisiológica del material de propagación influye directamente en el establecimiento, crecimiento y resiliencia de las plantaciones de restauración (Pedrini & Dixon, 2020; Pedrini et al., 2020). Sin embargo, la disponibilidad de semillas de especies nativas con estándares adecuados de calidad suele ser limitada, lo que restringe la efectividad de las intervenciones en campo y compromete los resultados a largo plazo de los proyectos de restauración (Broadhurst et al., 2008; Pedrini et al., 2020). Esta limitación es especialmente crítica en países donde aún no existen mecanismos regulatorios que garanticen cadenas de suministro bajo estándares mínimos, lo que facilita la circulación de semillas con baja viabilidad y con escaso control de calidad (Mainz & Wieden, 2019). Esta problemática ha sido corroborada por Marin et al. (2017), quienes evidenciaron una alta variabilidad en germinación y vigor en lotes de semillas de especies nativas, ello resalta la necesidad de establecer protocolos adecuados de selección y manejo de

árboles semilleros como fuentes potenciales de semilla que garanticen su calidad genética y fisiológica.

En este contexto, la identificación de árboles semilleros constituye una estrategia ampliamente utilizada en programas de mejoramiento genético forestal para garantizar la producción de semillas de alta calidad. Entre los métodos de selección más empleados están el método de comparación con árboles testigo, el de regresión lineal y el de valoración individual (Flores et al., 2005).

El método de comparación con árboles testigo se basa en la evaluación del árbol candidato en relación con otros individuos adyacentes, lo que permite identificar aquellos con características fenotípicas superiores. En contraste, el método de regresión lineal emplea la relación entre edad-volumen en forma individual de los árboles candidatos a superiores. Aunque este último puede aplicarse cuando existen limitaciones de tiempo o recursos para realizar evaluaciones de campo más detalladas, el método de comparación con árboles testigo suele considerarse más preciso para la selección de los árboles superiores (Muñoz Flores et al., 2012). De acuerdo con Muñoz Flores et al. (2012), aproximadamente 75 % de los estudios de selección de árboles superiores emplean ese método, mientras que cerca de 15 % utilizan el de regresión lineal.

Además de su importancia en los programas de mejoramiento genético forestal, los árboles semilleros seleccionados también contribuyen a la conservación *ex situ* de los recursos genéticos forestales, ya que posibilitan el establecimiento de fuentes semilleras que aseguran la disponibilidad de germoplasma de calidad para programas de restauración, investigación y producción forestal (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014). Este enfoque es particularmente relevante en especies nativas utilizadas en programas de restauración ecológica, en los cuales, la limitada disponibilidad de semillas nativas y de material reproductivo adecuado constituye uno de los principales factores que restringen la implementación de proyectos de restauración a gran escala (Pedrini et al., 2020).

Dentro de las especies nativas usadas en programas de restauración en los Andes, *Alnus acuminata* Kunth destaca por su importancia ecológica y funcional. Esta especie pionera

posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que favorece la recuperación de suelos degradados y mejora la fertilidad del ecosistema (Dawson, 2008). Asimismo, su rápido crecimiento, tolerancia a condiciones ambientales adversas y capacidad para estabilizar suelos la convierten en una especie clave para la restauración de cuencas hidrográficas y áreas degradadas (Cyamweshi et al., 2021).

Estudios de restauración forestal han demostrado que las plantaciones de *A. acuminata* contribuyen al incremento de la materia orgánica del suelo, la mejora de la estructura edáfica y la reducción de la erosión superficial; procesos que favorecen la recuperación funcional de los ecosistemas degradados (Lozano-Baez et al., 2019). Además, la especie tiene relevancia socioecológica en diversas regiones andinas debido a sus usos en sistemas agroforestales, producción de madera y usos medicinales tradicionales (Aguilar et al., 2011).

A pesar de su amplia distribución, en la región andina del norte del Perú, existe información limitada sobre árboles semilleros para la especie. Aunque se han registrado poblaciones naturales y plantaciones, aún no existen datos sistemáticos que documenten individuos con características fenotípicas superiores que puedan utilizarse como fuentes de germoplasma de calidad. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo identificar y seleccionar árboles semilleros de *A. acuminata* con base en atributos fenotípicos, mediante la evaluación de características dasométricas y morfológicas, así como de la calidad física y fisiológica de sus semillas. Asimismo, se elaboró un mapa de distribución espacial de los individuos seleccionados con el fin de contribuir a la generación de una base genética local, orientada a fortalecer la provisión de semillas de calidad y apoyar programas de forestación, reforestación y restauración ecológica en la región andina del norte del Perú.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el distrito de Chota, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, en el norte del Perú. El área de referencia se localiza entre las coordenadas 6°28’53”-6°39’14” S y 78°42’15”-78°39’36” O, con una superficie aproximada de 261.75 km^2 y un intervalo altitudinal de 2 395-3 460 m (Figura 1). El distrito se consideró como marco espacial de referencia; las evaluaciones se realizaron en sitios puntuales donde se identificaron árboles semilleros de *A. acuminata*.

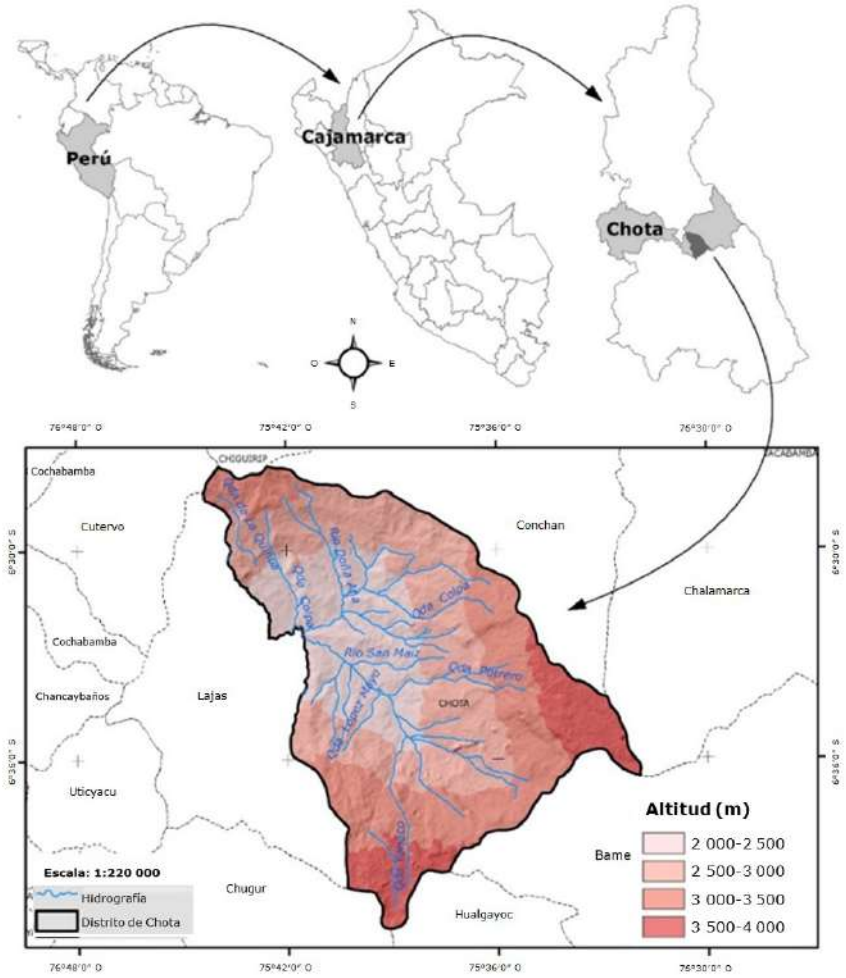


Figura 1. Hidrología e intervalo altitudinal del área de estudio.

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de *Holdridge*, el área comprende ecosistemas correspondientes a bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT) y bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT) (Aybar-Camacho & Lavado-Casimiro, 2017). El clima es templado subhúmedo, con temperatura media anual entre 14-16 °C, máximas medias de 18 a 22 °C y mínimas de 8 a 10 °C. La precipitación anual varía entre 700-1 200 mm, concentrándose principalmente entre noviembre y abril, mientras que la estación seca se extiende de mayo a octubre, según registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi, 2020).

Reconocimiento y mapeo de áreas potenciales de muestreo

Se realizó un mapeo preliminar para identificar áreas potenciales de muestreo representativas de distintos pisos altitudinales y condiciones edáficas; se buscó cubrir un gradiente ambiental amplio que favorezca la representación de la variabilidad genética (Alves-Pimenta et al., 2023). La presencia de *A. acuminata* se verificó mediante recorridos de campo y, con el apoyo de sistemas de información geográfica (SIG), se elaboró un mapa de localización de puntos potenciales de muestreo, el cual sirvió como base para orientar la selección y distribución espacial de los árboles candidatos (Figura 2).

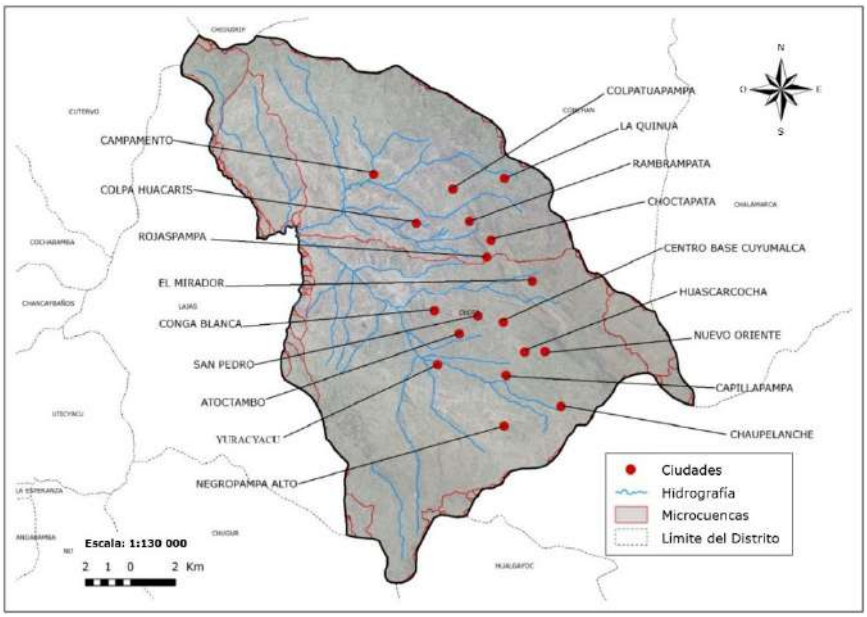


Figura 2. Localización de áreas potenciales de muestreo de *Alnus acuminata* Kunth en el distrito de Chota, Perú.

Muestreo de árboles candidatos

Durante el otoño (marzo-junio) se identificaron 204 árboles reproductivamente maduros de *A. acuminata*, con fructificación visible, provenientes tanto de poblaciones naturales como de plantaciones. En cada individuo se midió el diámetro a la altura del pecho (*DAP*; 1.30 m) mediante una forcípula *Haglöf*® Mantax Blue, altura total (*HT*) y altura comercial (*HC*) con un hipsómetro *Blume-Leiss*® BL6. La edad se estimó mediante un barreno de *Pressler* (4.3 mm), y la ubicación geográfica de cada árbol se registró con un receptor GPS *Garmin*® *Montana* 680. El volumen total del fuste (*V*) fue estimado a partir de las variables *DAP* y *HT* mediante la ecuación: $V=0.0001468(DAP^2HT)^{0.8610}$, propuesta por Elera-Gonzales et al. (2023) para *A. acuminata* en plantaciones forestales del norte del Perú.

Criterios de selección fenotípica

La selección de árboles semilleros se basó en criterios dasométricos, morfológicos y sanitarios comúnmente utilizados en programas de mejoramiento genético forestal y restauración ecológica (Valladolid-Ontaneda et al., 2017). Se evaluaron características del fuste, la copa y el estado fitosanitario tanto del árbol como del fruto, los puntajes asignados correspondieron a los criterios establecidos en el Cuadro 1. La selección final se realizó mediante el método de comparación con árboles vecinos o testigos, el cual consiste en comparar el árbol candidato con los cinco mejores individuos circundantes, priorizando aquellos que presentaron superioridad fenotípica y ausencia de defectos morfológicos (García-Zárate et al., 2022).

Cuadro 1. Criterios utilizados para la selección de árboles semilleros de *Alnus acuminata* Kunth.

Parámetros	Descripción	Puntaje
Forma del fuste	Recto	2
	Ligeramente torcido a lo largo de la *HC*	1
	Torcido antes de la *HC*	0
Bifurcación del fuste	No presenta bifurcación	2
	Bifurcado a la altura del *DAP*	1
	Bifurcación por debajo del *DAP*	0
Simetría de copa	Simétrica o regular	2
	Asimétrica o irregular	1
Porcentaje de copa en floración	>80 %	3
	80-20 %	2
	<20 %	1
Porcentaje de copa en fructificación	>70 %	3
	70-30 %	2
	<30 %	1
Estado fitosanitario del árbol	Sano	2
	Ataque biológico	1
Estado fitosanitario del fruto	Frutos sanos	2
	Ataque biológico en frutos	1

HC = Altura comercial; *DAP* = Diámetro normal. Fuente: Elaborado con base en García-Zárate et al. (2022).

Se priorizaron árboles ubicados en condiciones de baja competencia intraespecífica y con adecuada accesibilidad para la recolección de semillas, de acuerdo con recomendaciones técnicas para la selección de árboles semilleros en programas de restauración ecológica y mejoramiento genético forestal (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONUAA], 2021; Pedrini et al., 2020). Asimismo, para reducir la probabilidad de recolectar individuos emparentados y favorecer la representatividad genética, se mantuvo una distancia mínima aproximada de 200 m entre árboles seleccionados dentro de cada sitio de muestreo,

conforme a criterios de distribución espacial citados en estudios similares (Wongwachimaphet et al., 2024).

Recolección, secado y almacenamiento de frutos

Los frutos de *A. acuminata* se recolectaron durante la estación seca (junio-agosto), cuando presentaban madurez fisiológica, evidenciada por el oscurecimiento y endurecimiento del fruto (López-Leiva & Montero, 2024). Se seleccionaron árboles con ≥10 años de edad, estimada mediante barreno de *Pressler* (Imaña & Encinas, 2008), dado que en individuos jóvenes las semillas suelen presentar menor viabilidad (Salazar, 2000). Después de la recolección, los frutos se sometieron a 36 h de secado en sombra y posteriormente a 72 h de exposición solar, con el fin de favorecer su apertura natural y la liberación de las semillas. Estas se separaron manualmente, se codificaron según el árbol de origen y se almacenaron en bolsas herméticas, en un ambiente seco y oscuro, conforme a las recomendaciones de la *International Seed Testing Association* (ISTA, 2016) y a procedimientos documentados para especies andinas (Urretavizcaya et al., 2016).

Procesamiento de las muestras recolectadas

Se recolectaron muestras botánicas de *A. acuminata* (ramas terminales con hojas, flores y frutos), con autorización del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor; RA Núm. D000149-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-CAJAMARCA). Las muestras fueron codificadas, prensadas y trasladadas al Herbario "Pedro Coronado

Arrascue" de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, donde se secaron de manera natural mediante cambios periódicos del papel absorbente, a fin de evitar la proliferación de hongos y asegurar un secado homogéneo. Posteriormente, los especímenes se montaron en cartulinas *Folcote* (30×40 cm), se etiquetaron y se depositaron en esta institución, reconocida como Institución Científica Nacional Depositaria de Material Biológico (código AUT-ICND-2019-003), conforme a la Resolución Núm. 503-2019-MINAGRI-SERFOR-DGGSPFFS.

Análisis físico y fisiológico de semillas

Los análisis físicos y fisiológicos de las semillas se hicieron conforme a los protocolos establecidos por la ISTA (2016). La pureza física se determinó a partir de dos submuestras de 4 g. El contenido de humedad se evaluó mediante dos submuestras de 5 g, secadas a 105±2 °C durante 17 h en una estufa *Memmert*® UN30. El peso de 100 semillas se determinó a partir de ocho réplicas utilizando una balanza analítica *Boeco*® BAS-31 Plus; el procedimiento se repitió cuando el Coeficiente de variación (*CV*) superó 4 %. La germinación se evaluó mediante cuatro réplicas de 100 semillas por árbol, bajo condiciones controladas de 25±2 °C, 70-80 % de humedad relativa (*HR*) y un fotoperiodo de 16/8 h (luz/oscuridad), siguiendo la metodología de la ISTA (2016) y Ezau & Salazar (1998); la emergencia de plántulas se registró diariamente durante 21 días, a partir de lo cual se calculó el porcentaje de germinación.

Análisis de datos

Validación del criterio de selección fenotípica

Para validar el método de selección basado en los criterios fenotípicos utilizados, se aplicó la prueba no paramétrica de rangos con signo de *Wilcoxon* para muestras pareadas. Esta prueba permitió comparar el puntaje obtenido por cada árbol seleccionado con la mediana (*M*) de los puntajes de los árboles no seleccionados dentro de su respectivo grupo. El análisis se efectuó con un nivel de significancia de α=0.05 utilizando la función "*wilcox.test*()" del paquete "*stats*" de *R* versión 4.4.2 (R Core Team, 2025; Wilcoxon, 1945).

Análisis de la edad de los árboles

La edad de los árboles semilleros seleccionados se analizó mediante estadística descriptiva, calculándose la media, mediana, intervalo mínimo y máximo, así como el intervalo intercuartílico. Con el fin de visualizar la distribución de las edades y detectar posibles valores atípicos, se elaboró un diagrama de caja (*boxplot*). Los análisis se realizaron con el *software Microsoft* Excel 2016.

Análisis de conglomerados para la clasificación fenotípica

Se aplicó un análisis de conglomerados para identificar clústeres entre los árboles seleccionados, con base en sus características dasométricas: *DAP*, *HT*, *HC* y *V*. Previamente, las variables dasométricas se escalaron y estandarizaron con el fin de evitar efectos de magnitud entre variables. El número óptimo de clústeres (*K*) se determinó mediante el método de la silueta (*silhouette*), para ello se usó la función "*fviz_nbclust*()" del paquete "*factoextra*" de *R* versión 4.4.2 (R Core Team, 2025). Este método evalúa la calidad de la partición maximizando el ancho promedio de la silueta, lo que indica una alta cohesión interna y una adecuada separación entre clústeres. Posteriormente, se aplicó el algoritmo de *K*-medias (*K-means*) para realizar la agrupación, utilizando el número de clústeres determinado previamente. El algoritmo se ejecutó con 25 inicios aleatorios (*nstart*=25), a fin de asegurar la convergencia hacia una solución estable.

Las diferencias entre los clústeres identificados se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), considerando la pertenencia al clúster como factor de agrupación y las variables dasométricas como variables de respuesta. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba *post hoc* de *Tukey* (*HSD*) para identificar los clústeres que diferían entre sí para cada variable. Estos análisis se llevaron a cabo con las funciones "*aov*()" y "*TukeyHSD*()" del paquete "*stats*" de R versión 4.4.2 (R Core Team, 2025).

Análisis de semillas

Los datos correspondientes a las variables de calidad física y fisiológica de las semillas se analizaron mediante estadística descriptiva, registrándose valores de media, desviación estándar y Coeficiente de variación. Dado que las variables evaluadas corresponden a parámetros descriptivos del comportamiento de las semillas, no se aplicaron pruebas de hipótesis estadísticas. Los análisis se hicieron con el *software Microsoft* Excel 2016.

Resultados

Árboles seleccionados

De los 204 árboles evaluados, se seleccionaron 34 individuos semilleros de *A. acuminata*. De estos, seis procedentes de poblaciones naturales y 28 de plantaciones. Todos los ejemplares seleccionados cumplieron los criterios establecidos; es decir, fuste recto, copa simétrica, floración superior a 80 %, fructificación mayor a 70 % y buen estado fitosanitario.

El análisis comparativo mostró que los árboles seleccionados presentaron puntajes significativamente superiores, respecto a los no seleccionados, ello se evidenció por valores de mediana mayores en el grupo seleccionado ($MPuntaje_{SI} > MPuntaje_{NO}$). La prueba de rangos con signo de *Wilcoxon* confirmó estas diferencias ($V=595$, $p<0.001$), lo que respalda la consistencia del criterio de selección fenotípica aplicado (Figura 3).

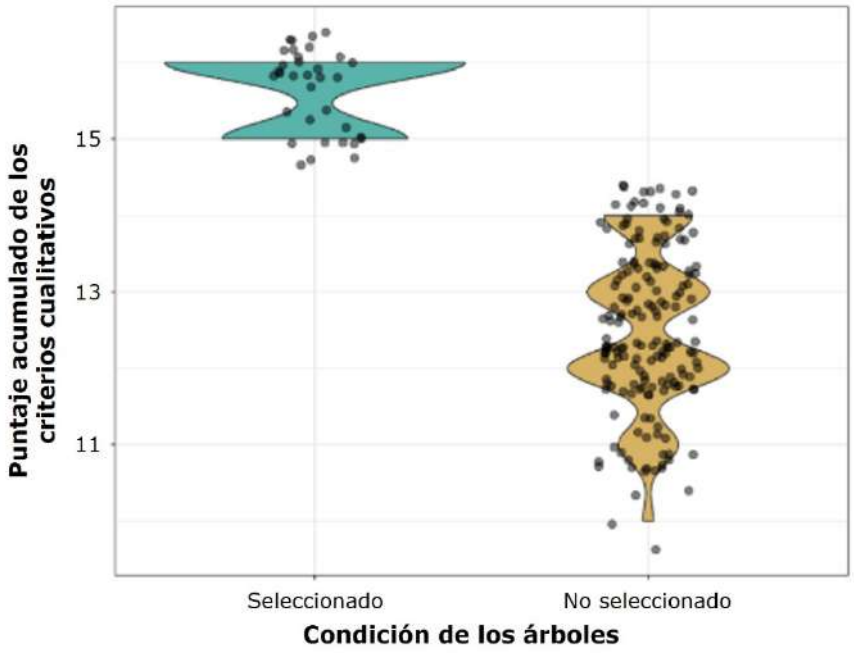
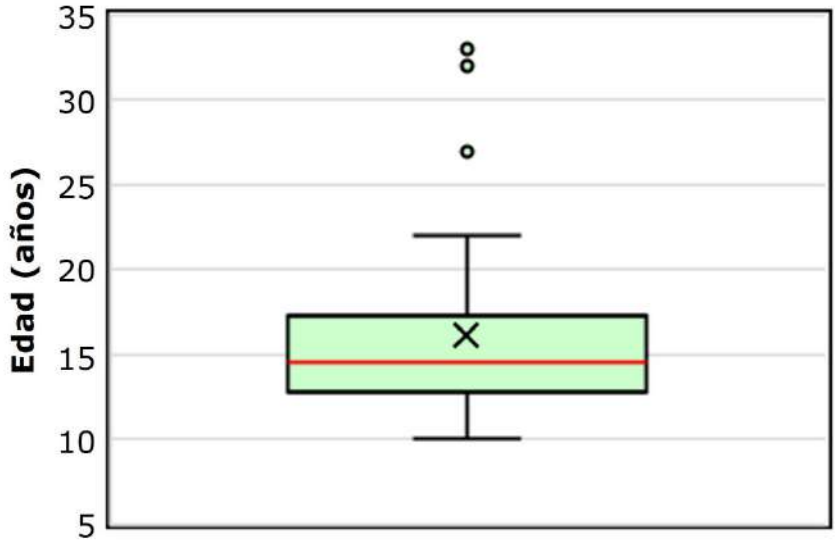


Figura 3. Distribución de los puntajes para el grupo de árboles seleccionados y no seleccionados.

Edad de los árboles seleccionados

La edad de los árboles semilleros presentó una distribución concentrada en clases intermedias (Figura 4). El diagrama de caja evidenció una mediana de 15 años, con un intervalo intercuartílico entre 13 y 17 años, lo cual indica que 50 % de los individuos está dentro de este intervalo. Las edades oscilaron entre 10 y 33 años, con una media de 16 años (n=34). Se identificaron valores atípicos correspondientes a individuos de mayor edad (27, 32 y 33 años), que se ubican por encima del intervalo típico de distribución observado en el conjunto de árboles semilleros.



La línea horizontal representa la mediana; la "X" indica la media; los bigotes corresponden a los valores no atípicos y los puntos a valores atípicos.

Figura 4. Distribución de la edad de los árboles semilleros de *Alnus acuminata* Kunth seleccionados en el área de estudio.

Características dasométricas de los árboles semilleros seleccionados

Los 34 árboles semilleros seleccionados (Cuadro 2) presentaron un *DAP* promedio de 34.22 cm (intervalo: 22.20-67.50 cm), la *HT* varió entre 14.50-35.50 m, con un promedio de 21.19 m. Los coeficientes de variación fueron 33.63 % (*DAP*), 23.10 % (*HT*) y 39.05 % (*HC*), lo que indica una variabilidad de moderada a alta en las dimensiones dasométricas.

Cuadro 2. Medidas de altura y diámetro de los 34 árboles semilleros seleccionados.

Código del árbol	Variables dasométricas				Clúster
	***DAP* (cm)**	***HT* (m)**	***HC* (m)**	***V* (m^3)**	
A1	65.20	25.70	7.50	1.1074	3
A2	27.70	18.30	5.60	0.1972	1
A3	56.70	30.20	7.30	0.8506	3
A4	38.30	23.50	4.60	0.2908	2
A5	30.50	24.50	4.50	0.1928	2
A6	33.20	17.50	3.50	0.1797	1
A7	32.20	25.50	5.50	0.2516	2
A8	35.50	24.50	4.50	0.2504	2
A9	32.70	24.00	12.00	0.5058	2
A10	42.50	14.50	4.50	0.3414	1
A11	67.50	27.00	5.70	0.9281	3
A12	56.40	35.50	14.00	1.4765	3
A13	30.50	15.50	7.30	0.2924	1
A14	28.50	23.00	10.00	0.3412	2
A15	30.40	23.50	4.00	0.1732	2
A16	22.40	14.50	4.50	0.1133	1
A17	26.50	15.50	3.00	0.1067	1
A18	27.50	18.00	3.50	0.1299	1
A19	27.70	18.50	5.50	0.1941	1
A20	22.20	15.50	4.50	0.1116	1
A21	33.50	17.00	4.50	0.2266	1
A22	23.50	16.00	5.00	0.1347	1
A23	26.20	16.50	6.50	0.2037	1
A24	38.20	21.90	3.70	0.24	2
A25	45.20	27.50	7.80	0.6095	2
A26	33.30	19.50	4.50	0.2243	1
A27	33.50	24.50	6.00	0.2903	2
A28	32.60	22.50	6.50	0.2968	2
A29	25.40	17.50	4.50	0.1407	1
A30	28.40	18.50	6.50	0.234	1
A31	25.50	24.00	7.00	0.2072	2
A32	28.20	19.50	7.50	0.2615	2
A33	23.50	18.50	6.50	0.1689	1

A34	32.40	22.50	7.50	0.3321	2
Mínimo	22.20	14.50	3.00	0.11	
Máximo	67.50	35.50	14.00	1.48	
Promedio	34.22	21.19	6.04	0.34	
Desviación estándar	11.51	4.90	2.36	0.31	
Coeficiente de variación	33.63	23.10	39.05	90.26	

DAP = Diámetro a la altura del pecho; *HC* = Altura comercial; *HT* = Altura total; *V* = Volumen.

Análisis de conglomerados

El método *silhouette* mostró tres clústeres como valor óptimo (*K*=3). El análisis de conglomerados mediante *K*-medias (*K-means*) aplicado a los árboles seleccionados permitió identificar el clúster de pertenencia de cada individuo (Cuadro 2). Los clústeres 1, 2 y 3 estuvieron conformados por 16, 14 y 4 árboles respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. *DAP*, *HT*, *HC* y *V* de los tres clústeres identificados mediante el análisis de conglomerados.

Variable	Clúster	*n*	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
DAP (cm)	1	16	28.4	22.2	42.5	5.3
	2	14	33.1	25.5	45.2	5.0
	3	4	61.5	56.4	67.5	5.7
HT (m)	1	16	17.0	14.5	19.5	1.6
	2	14	23.6	19.5	27.5	1.8
	3	4	29.6	25.7	35.5	4.4
HC (m)	1	16	5.0	3.0	7.3	1.2

	2	14	6.5	3.7	12.0	2.4
	3	4	8.6	5.7	14.0	3.7
V (m^3)	1	16	0.1875	0.1067	0.3414	0.0666
	2	14	0.3031	0.1732	0.6095	0.1199
	3	4	1.0906	0.8506	1.4765	0.2788

DAP = Diámetro a la altura del pecho; *HC* = Altura comercial; *HT* = Altura total; *V* = Volumen; *n* = Número de árboles semilleros.

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre las medias de los tres clústeres para todas las variables dasométricas evaluadas (*DAP*, *HT*, *HC* y *V*; $p<0.001$) (Cuadro 4).

Cuadro 4. *DAP*, *HT*, *HC* y *V* por clúster e identificación de grupos homogéneos (Test de *Tukey*, $\alpha=0.05$).

Clúster	***n***	***DAP* (cm)**	***HT* (m)**	***HC* (m)**	***V* (m^3)**
3	4	61.5^{a}	29.6^{a}	8.6^{a}	1.0906^{a}
2	14	33.1^{b}	23.6^{b}	6.5^{ab}	0.3031^{b}
1	16	28.4^{c}	17.0^{c}	5.0^{b}	0.1875^{c}
Valor *p* (ANOVA)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

DAP = Diámetro a la altura del pecho; *HC* = Altura comercial; *HT* = Altura total; *V* = Volumen; *n* = Número de árboles semilleros. Letras a, b, c, indican los grupos homogéneos según la prueba de *Tukey*. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$).

La prueba de diferencia de medias de *Tukey*, aplicada a *posteriori*, identificó y caracterizó los grupos resultantes. En conjunto, los clústeres definidos representan clases fenotípicas de árboles que difieren en su morfología y en su potencial productivo.

Distribución geográfica de árboles semilleros

A partir de la georreferenciación de los árboles semilleros se elaboró un mapa de distribución espacial (Figura 5), en el cual se identificaron 34 árboles semilleros de *A. acuminata* distribuidos en 18 localidades del distrito de Chota. Las mayores concentraciones se registraron en La Quinua (4 árboles), Rojaspampa (3) y Chaupelanche (3). Esta información constituye una base para la planificación de estrategias de manejo, conservación y recolección de semillas.

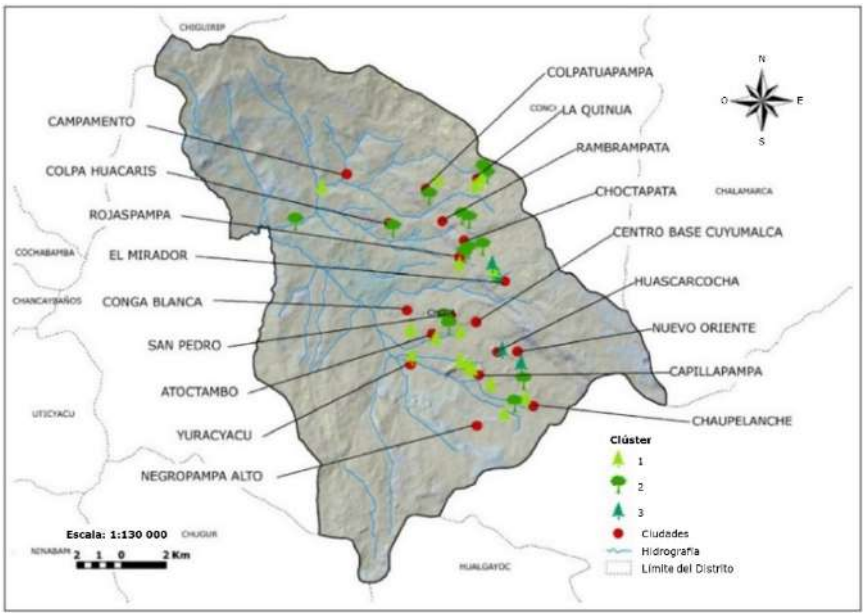


Figura 5. Mapa de distribución de los árboles semilleros de *Alnus acuminata* Kunth en el distrito de Chota, Perú.

Análisis físico y fisiológico de semillas

Las semillas de *A. acuminata* presentaron valores homogéneos en los parámetros de calidad física y fisiológica (Cuadro 5). El peso de 100 semillas, la pureza, el contenido de humedad y el porcentaje de germinación tuvieron coeficientes de variación bajos (≤8.26 %), lo que indica una variabilidad reducida entre árboles semilleros. Los valores promedio de germinación y pureza se mantuvieron dentro de intervalos adecuados para su utilización en programas de restauración y producción de material forestal de reproducción.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de la calidad física y fisiológica de las semillas de *Alnus acuminata* Kunth.

Estadístico	Peso de 100 semillas (g)	(%)		
		Pureza	Contenido de humedad	Germinación
Máximo	0.0584	83.88	13.00	86.75
Mínimo	0.0432	78.25	9.90	76.25
Promedio	0.0509	81.51	11.54	82.64
Desviación estándar	0.0029	1.50	0.95	1.98
Coeficiente de variación (%)	5.74	1.84	8.26	2.39

Distribución espacial con base en la germinación

En la Figura 6 se presenta el mapa de distribución espacial de los 34 árboles semilleros de *A. acuminata* según el porcentaje de germinación de sus semillas, clasificados en tres intervalos: alto (82.50-86.75 %), medio (80.75-82.50 %) y

bajo (76.25-80.75 %). Los valores más altos de germinación se registraron, principalmente, en sectores ubicados hacia el noreste y este del área de estudio, evidenciando una variación espacial en el desempeño germinativo entre los árboles evaluados.

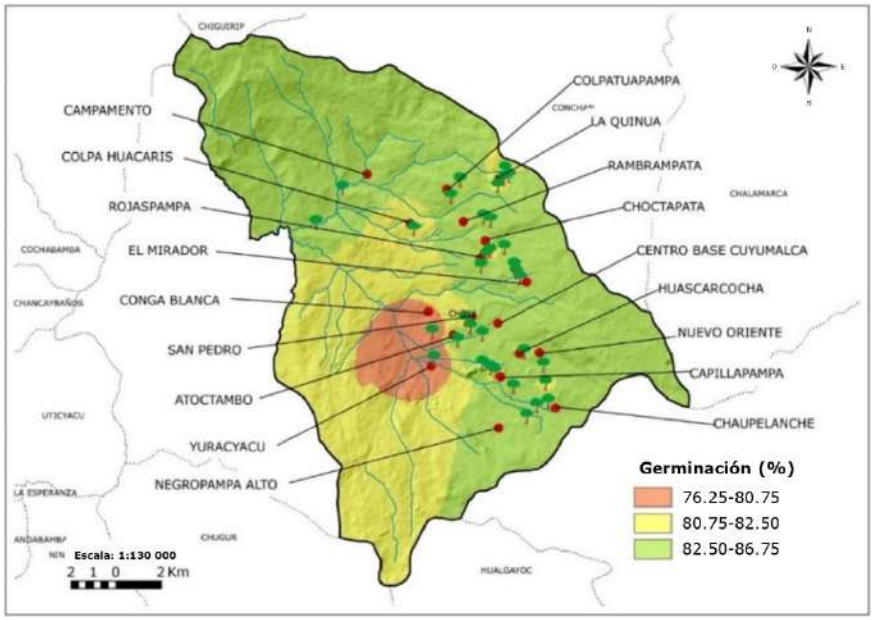


Figura 6. Mapa de distribución espacial del porcentaje de germinación de semillas de *Alnus acuminata* Kunth en el área de estudio.

Discusión

La selección de 34 árboles semilleros de *A. acuminata* a partir de 204 candidatos evaluados en el distrito de Chota representa un primer esfuerzo sistemático para establecer una base local de germoplasma de una especie clave para la restauración andina. La integración de criterios dasométricos, morfológicos y sanitarios, complementada con la evaluación de la calidad física y fisiológica de las semillas hizo

posible vincular explícitamente la selección de árboles madre con la calidad del material forestal de reproducción (MFR) disponible para programas de restauración (Ivetić et al., 2016; Luna-Nieves et al., 2019).

Desde la perspectiva de diversidad genética, el número de individuos seleccionados y su distribución en 18 localidades es consistente con recomendaciones que sugieren recolectar semillas de 25-50 árboles por población para equilibrar su uso y conservación (Ivetić et al., 2016; Pakkad et al., 2004). La proporción de árboles semilleros seleccionados (17 %) es comparable con la consignada en programas de selección fenotípica en coníferas y latifoliadas nativas, donde solo una fracción de los individuos evaluados cumple criterios estrictos de forma, sanidad y fructificación (Pascual-López et al., 2020; Valladolid-Ontaneda et al., 2017).

La diversidad genética del material de propagación constituye un componente clave para asegurar la capacidad adaptativa de las poblaciones restauradas frente a cambios ambientales y disturbios. En este sentido, la recolección de semillas a partir de múltiples árboles madre y de diferentes localidades contribuye a mantener una mayor variabilidad genética en los programas de restauración (Nef et al., 2021). No obstante, en ausencia de información genética, la representatividad adaptativa del material seleccionado debe considerarse provisional, dado que árboles espacialmente distantes pueden ser similares desde el punto de vista genético (Alves-Pimenta et al., 2023; Pakkad et al., 2004). Por ello, la selección de material semillero para restauración debe considerar no solo la superioridad fenotípica, sino también la amplitud genética de las poblaciones, con el fin de fortalecer la resiliencia y el desempeño a largo plazo de las plantaciones forestales (Prakash et al., 2024).

Con base en el análisis de conglomerados se distinguieron tres grupos fenotípicos diferenciados, principalmente, por el diámetro, altura y volumen, desde individuos de menor porte hasta árboles de mayor desarrollo estructural. Este patrón es congruente con estudios realizados en *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen y otras especies nativas, cuya agrupación fenotípica se ha utilizado para definir clases de manejo y orientar la conformación de rodales y huertos semilleros (Pascual-López et al., 2020; Valladolid-Ontaneda et al., 2017). La inclusión de árboles pertenecientes a distintos

clústeres contribuye a capturar una mayor amplitud de fenotipos, potencialmente asociada a respuestas diferenciales frente a ambientes cambiantes (Cornelius et al., 2011; Gray & Whittier, 2014; Ivetić et al., 2016).

La calidad física y fisiológica de las semillas fue alta y homogénea, superiores a los umbrales comúnmente utilizados para discriminar árboles madre en especies forestales de restauración como *Spondias axillaris* Roxb. (sinonimia de *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burtt & A. W. Hill), *Prunus cerasoides* D. Don (sinonimia de *Prunus campanulata* Maxim.), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. *ex* DC.) Mattos (Alves-Pimenta et al., 2023; Pakkad et al., 2003, 2004). Estos resultados sugieren que los criterios fenotípicos aplicados fueron eficaces para identificar árboles semilleros capaces de producir semillas con buen desempeño fisiológico, en concordancia con lo señalado para otras especies leñosas de restauración y uso comercial (Luna-Nieves et al., 2019; Ortiz Muñoz et al., 2016).

Sin embargo, la relación entre el fenotipo del árbol madre y el desempeño de la progenie no es universal ni lineal, ya que los atributos dasométricos explican solo parcialmente la variación en características reproductivas, germinación y crecimiento inicial. La superioridad fenotípica de los árboles madre no siempre se traduce en un mayor rendimiento de la progenie, debido a la influencia combinada de factores genéticos y ambientales (Ray et al., 2022).

Dado que este estudio no incluyó ensayos de progenie, los árboles semilleros identificados deben considerarse una base preliminar, susceptible de ser validada mediante evaluaciones posteriores de vigor, supervivencia y desempeño en vivero y campo.

En conjunto, los resultados se alinean con enfoques actuales que promueven la transición desde esquemas de recolección oportunista, hacia sistemas de producción de semillas basados en la calidad genética y fisiológica del MFR (Ivetić et al., 2016; Luna-Nieves et al., 2019). La integración de árboles procedentes de poblaciones naturales y plantaciones incrementa la probabilidad de capturar variantes adaptadas a diferentes condiciones de manejo; no obstante, futuros estudios de estructura

genética serán esenciales para verificar la representatividad genética del material seleccionado y evitar posibles cuellos de botella.

Conclusiones

Se identificaron y seleccionaron 34 árboles semilleros de *A. acuminata* con atributos fenotípicos superiores, a partir de la evaluación de 204 individuos distribuidos en 18 localidades del distrito de Chota, Perú. La selección basada en criterios dasométricos, morfológicos, sanitarios y de calidad de semillas facilita la identificación de árboles con características adecuadas para su uso como fuentes de material forestal de reproducción. El análisis de conglomerados evidencia la existencia de tres grupos fenotípicos diferenciados, lo que refleja variabilidad estructural dentro de las poblaciones evaluadas y aporta información relevante para la clasificación de árboles con potencial en programas de restauración y mejoramiento genético.

Las semillas provenientes de los árboles seleccionados presentan alta calidad física y fisiológica, con valores promedio de germinación superiores a 80 % y baja variabilidad entre muestras, lo que confirma el potencial de estos individuos como fuentes confiables de germoplasma. Asimismo, la distribución espacial de los valores de germinación evidencia zonas con mayor desempeño reproductivo dentro del área de estudio, información que resulta relevante para orientar futuras estrategias de recolecta de semillas. En conjunto, los resultados proporcionan una base inicial para el establecimiento de fuentes semilleras locales de *A. acuminata* y contribuyen al fortalecimiento de programas de restauración ecológica, reforestación y manejo de recursos genéticos forestales en los ecosistemas altoandinos del norte del Perú.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH) el financiamiento otorgado mediante el V Concurso de Proyectos de Investigación-Nivel Tesis, con recursos del Canon, conforme a la Ley Núm. 27506 (Ley del Canon).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución por autor

Kely Lizeth Vásquez Saldaña: planeación y ejecución del trabajo de campo y laboratorio y redacción del manuscrito; Eiler Llatas Mires y Yuli Anabel Chávez-Juanito: procesamiento de información y elaboración cartográfica; Jim Jairo Villena Velásquez y Leyla Catherine Alarcón Alarcón: redacción y revisión del manuscrito; Duberli Geomar Elera Gonzales: análisis estadístico de datos, redacción y revisión del manuscrito.

Referencias

Aguilar, M. I., Rovelo, R., Verjan, J. G., Illescas, O., Baeza, A. E., De La Fuente, M., Avila, I., & Navarrete, A. (2011). Anti-inflammatory activities, triterpenoids, and diarylheptanoids of *Alnus acuminata* ssp. *arguta*. *Pharmaceutical Biology*, *49*(10), 1052-1057. https://doi.org/10.3109/13880209.2011.564634

Alves-Pimenta, J. M., Andrade-Teixeira de Souza, W. M., dos Santos-Ferrari, C., de Almeida-Vieira, F., Gouvêa-Fajardo, C., & Vasconcelos-Pacheco, M. (2023). Selection

of *Handroanthus impetiginosus* mother trees to support seed collection areas. *Revista Árvore*, *47*, Article e4706. https://doi.org/10.1590/1806-908820230000006

Aybar-Camacho, C., & Lavado-Casimiro, W. (2017). *Atlas de zonas de vida del Perú. Guía explicativa* [Nota Técnica 003]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-9.pdf

Broadhurst, L. M., Lowe, A., Coates, D. J., Cunningham, S. A., McDonald, M., Vesk, P. A., & Yates, C. (2008). Seed supply for broadscale restoration: Maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications*, *1*(4), 587-597. https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2008.00045.x

Cornelius, J. P., Sotelo-Montes, C., Ugarte-Guerra, L. J., & Weber, J. C. (2011). The effectiveness of phenotypic selection in natural populations: a case study from the Peruvian Amazon. *Silvae Genetica*, *60*(5), 205-209. https://doi.org/10.1515/sg-2011-0027

Cyamweshi, A. R., Kuyah, S., Mukuralinda, A., & Muthuri, C. W. (2021). Potential of *Alnus acuminata* based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, *95*, 1125-1135. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00619-5

Dawson, J. O. (2008). Ecology of actinorhizal plants. In K. Pawlowski & W. E. Newton (Eds.), Nitrogen-fixing Actinorhizal Symbioses (pp. 199-234). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3547-0_8

Elera-Gonzales, D. G., Valdez-Campos, J. V., González-Acosta, M. Y., & Araújo-Silva, E. (2023). Estimación del volumen individual de árboles de *Alnus acuminata* Kunth en plantaciones forestales. *Revista Ciencia Nor@ndina*, *6*(2), 145-159. https://doi.org/10.37518/2663-6360X2023v6n2p145

Ezau, K., & Salazar, R. (1998). *Condiciones óptimas para la germinación de Alnus acuminata spp. arguta (Schlechtendal) Furlow y Pithecellobium saman (Jacq.) Benth*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5935

Flores, F., Chávarry-Sánchez, L., & Veja-Isohuaylas, D. (2005). *Criterios y pautas para la selección de árboles plus: Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze "Tara o Taya"*. Asociación Civil

para la Investigación y Desarrollo Forestal. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&cluster=13853411209456358272

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *The state of the world's forest genetic resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1ca65f2b-dfae-44e0-9919-a8428d7ee7b7/content

García-Zárate, D., Marcelo-Bazán, F. E., & Dávila-Estela, L. (2022). Identificación y selección de árboles semilleros de *Cinchona officinalis* L. ("Quina") en el distrito de Querocoto, Chota–Cajamarca. *Revista Forestal del Perú*, *37*(1), 69-77. https://doi.org/10.21704/rfp.v37i1.1594

Gray, A. N., & Whittier, T. R. (2014). Carbon stocks and changes on Pacific Northwest national forests and the role of disturbance, management, and growth. *Forest Ecology and Management*, *328*, 167-178. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.015

Imaña E., J., & Encinas B., O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidade de Brasília. https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf

International Seed Testing Association. (2016). *Reglas internacionales para el análisis de las semillas 2016. Introducción a las reglas ISTA, capítulos 1-7, 9*. International Seed Testing Association. https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf

Ivetić, V., Devetaković, J., Nonić, M., Stanković, D., & Šijačić-Nikolić, M. (2016). Genetic diversity and forest reproductive material-from seed source selection to planting. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *9*(5), 801-812. https://doi.org/10.3832/ifor1577-009

López-Leiva, C., & Montero, G. (2024). Aliso, *Alnus glutinosa* L. RevForesta, (90), 6-15. https://www.forestales.net/revistas/articulos/747/completo/06_apunres_aliso_pdf.pdf

Lozano-Baez, S. E., Cooper, M., Meli, P., Ferraz, S. F. B., Ribeiro-Rodrigues, R., & Sauer, T. J. (2019). Land restoration by tree planting in the tropics and subtropics improves soil infiltration, but some critical gaps still hinder conclusive results. *Forest Ecology and Management*, *444*, 89-95. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.046

Luna-Nieves, A. L., Meave, J. A., González, E. J., Cortés-Flores, J., & Ibarra-Manríquez, G. (2019). Guiding seed source selection for the production of tropical dry

forest trees: *Coulteria platyloba* as study model. *Forest Ecology and Management*, *446*, 105-114. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.020

Mainz, A. K., & Wieden, M. (2019). Ten years of native seed certification in Germany–a summary. *Plant Biology*, *21*(3), 383-388. https://doi.org/10.1111/plb.12866

Marin, M., Toorop, P., Powell, A. A., & Laverack, G. (2017). Tetrazolium staining predicts germination of commercial seed lots of European native species differing in seed quality. *Seed Science and Technology*, *45*(1), 151-166. https://doi.org/10.15258/sst.2017.45.1.03

Muñoz-Flores, H. J., Orozco-Gutiérrez, G., Coria-Avalos, V. M., Muñoz-Vega, Y. Y., & García-Magaña, J. (2012). Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, *14*(1), 1-8. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49724122001

Nef, D. P., Gotor, E., Wiederkehr-Guerra, G., Zumwald, M., & Kettle, C. J. (2021). Initial investment in diversity is the efficient thing to do for resilient forest landscape restoration. *Frontiers in Forests and Global Change*, *3*, Article 615682. https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.615682

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Guía técnica de buenas prácticas comunitarias para la selección de árboles semilleros y manipulación de semillas forestales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://doi.org/10.4060/cb3668es

Ortiz-Muñoz, E., Acosta-Hernández, C. C., Linares-Márquez, P., Morales-Romero, Z., & Rebolledo-Camacho, V. (2016). Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm. en poblaciones naturales de Coatepec y Coacoatzintla, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *7*(38), 43-58. https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i38.3

Pakkad, G., Elliott, S., & Blakesley, D. (2004). Selection of *Prunus cerasoides* D. Don seed trees for forest restoration. *New Forests*, *28*, 1-9. https://doi.org/10.1023/B:NEFO.0000031326.36840.d3

Pakkad, G., Torre, F., Elliott, S., & Blakesley, D. (2003). Selecting seed trees for a forest restoration program: a case study using *Spondias axillaris* Roxb.

(Anacardiaceae). *Forest Ecology and Management*, *182*(1-3), 363-370. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00092-6

Pascual-López, M. L., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J. R., Campos-Ángeles, G. V., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2020). Selección de fenotipos de *Pinus chiapensis* en rodales naturales bajo manejo forestal al sur de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *7*(2), 96-109. https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/62

Pedrini, S., & Dixon, K. W. (2020). International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*, *28*(S3), S286-S303. https://doi.org/10.1111/rec.13155

Pedrini, S., Gibson-Roy, P., Trivedi, C., Gálvez-Ramírez, C., Hardwick, K., Shaw, N., Frischie, S., Laverack, G., & Dixon, K. (2020). Collection and production of native seeds for ecological restoration. *Restoration Ecology*, *28*(S3), S228-S238. https://doi.org/10.1111/rec.13190

Prakash, A., Capblancq, T., Shallows, K., Saville, D., Landau, D., Landress, C., Jacobs, T., & Keller, S. (2024). Bringing genomics to the field: An integrative approach to seed sourcing for forest restoration. *Applications in Plant Sciences*, *12*(3), Article e11600. https://doi.org/10.1002/aps3.11600

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.2) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ray, D., Berlin, M., Alia, R., Sanchez, L., Hynynen, J., González-Martinez, S., & Bastien, C. (2022). Transformative changes in tree breeding for resilient forest restoration. *Frontiers in Forests and Global Change*, *5*, Article 1005761. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1005761

Salazar, R. (Coord. Tecn.). (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina: volumen I* [Manual Técnico No. 41]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2959

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Clima/Mapa climático del Perú* [Mapa climático interactivo]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru

Urretavizcaya, M. F., Contardi, L., Oyharçabal, M. F., & Pasquini, M. (2016). Calidad de semillas de especies nativas del bosque andino patagónico de la provincia de Chubut y su importancia para la producción de plantines. *Revista de la Facultad de Agronomía*, *La Plata*, 115(1), 9-18. https://www.researchgate.net/publication/305409549_Calidad_de_semillas_de_especies_nativas_del_bosque_andino_patagonico_de_la_provincia_de_Chubut_y_su_importancia_para_la_produccion_de_plantines

Valladolid-Ontaneda, J., León-Mejía, Á., & Paredes-Tomalá, D. (2017). Selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de la península de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, *4*(2), 105-110. https://doi.org/10.26423/rctu.v4i2.261

Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, *1*(6), 80-83. https://doi.org/10.2307/3001968

Wongwachimaphet, P., Neimsuwan, T., Ishiguri, F., Nezu, I., & Diloksumpun, S. (2024). Seed source selection for improvement of growth and wood traits in 10-year-old *Fraxinus griffithii* C. B. Clarke trees planted in Northern Highlands of Thailand. *Forest*, *15*(11), Article 1974. https://doi.org/10.3390/f15111974

Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales –**sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.