



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ESCUELA DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**Assisted natural regeneration in abandoned pastures as a
strategy for cost-effectiveness to restore Andean forests**

Trabajo previo a la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, CON MENCIÓN
EN BIODIVERSIDAD Y ECOLOGÍA**

Nombre del autor:

Thalía Auxiliadora Ulloa Romero

Nombre del director:

Ximena Palomeque PhD.

Cuenca-Ecuador

2026

DEDICATORIA

A mis padres, por ser la raíz de este camino. No solo fueron mi refugio y sostén, sino también el ejemplo vivo del respeto hacia los demás, incluso hacia quienes conocemos poco; fueron ellos quienes me enseñaron a ver cada rincón del mundo con asombro y cuidado.

A mis hermanas, la inspiración constante para llegar lejos. Gracias por su apoyo incondicional y por sus consejos en momentos de duda. Este logro también les pertenece.

A mis sobrinas/os, para que nunca pierdan las ganas de descubrir el mundo e ir tras aquello que los mueva.

A mis amigas, por cuestionar, abrazarme y caminar conmigo en lo cotidiano. Son el hogar al que siempre quiero volver.

A Gaby, porque sin ti, esto solo serían retazos. Gracias por enseñarme a transformar las dudas en logros. Porque hiciste de la ciencia el espacio que aspiro a brindar a otras/os.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a Ximena Palomeque, por su dirección, guía constante y por abrirme las puertas del Laboratorio de Semillas y Ecología Forestal de la Universidad de Cuenca. A Gabriela Maldonado, por su apoyo cercano y vital en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a los miembros de mi tribunal, Blgo. Antonio Crespo, PhD, y Blga. Mayra Jiménez, por sus valiosos aportes durante esta investigación. A la Universidad del Azuay (UDA) por mi formación de posgrado y a la Universidad de Cuenca por el respaldo institucional y el acceso a instalaciones como el Laboratorio de Semillas Nativas y el Observatorio de Restauración Ecológica. Este estudio fue posible gracias al financiamiento de la Swiss National Science Foundation (SNSF), a la dirección de Catherine Graham (WSL) en el marco del proyecto “Experimental Network Ecology and Restoration (Exper-net)” y al cofinanciamiento del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cuenca.

Asimismo, agradezco al Ministerio del Ambiente y Energía (MAE) por los permisos de investigación (2022-2404, 2023-0173, 2025-0258), a ETAPA EP, al Herbario Azuay (HA) por la identificación taxonómica, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, específicamente al personal de las granjas de Irquis y Nero por las facilidades brindadas, así como a Ing. Amanda Suqui, del Laboratorio de Suelos, por su apoyo técnico en el procesamiento de muestras. Finalmente, quiero extender un reconocimiento especial a Walter Merchán, María José Ortiz y Daniela Tenesaca por su apoyo y esfuerzo durante las etapas de monitoreo y a Claudia Patiño y Dalma Orellena por su soporte durante este proceso.

GENERAL INDEX

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
Implications for practice	3
1. INTRODUCTION	3
2. METHODS	7
2.1. Study Area.....	7
2.2. Experimental design and data collection.....	10
2.3. Data analysis	12
2.3.1. Community composition and structure metrics.....	12
2.3.2. Establishment success measured as survival and recruitment.....	14
2.3.3. Indicator Species Analysis.....	14
2.3.4. Cost estimation of ANR	15
3. RESULTS	17
3.1. Community composition across monitoring periods and sites	17
3.2. Species accumulation across monitoring periods and sites	19
3.3. Variation in morphological traits across monitoring periods and sites.....	19
3.4. Responses in seedling survival and recruitment across sites.....	21
3.5. Indicator species associations.....	23
3.6. Restoration costs across operational phases and categories.....	24
4. DISCUSSION	29
4.1. Effects of the monitoring period on early natural regeneration	29
4.2. Site-level drivers of early regeneration dynamics.....	30
4.3. Indicator species as signals of early differentiation	32
4.4. Restoration costs and implications for ANR.....	33
5. CONCLUSIONS	35
6. REFERENCES	37
7. SUPPORTING INFORMATION	47

INDEX TO FIGURES, TABLES, AND APPENDICES

Figure 1. Study sites for the monitoring of assisted natural regeneration surrounding the city of Cuenca in Southern Ecuador.	7
Figure 2. Experimental design established in three abandoned pastures adjacent to the forest edge. Each site included two blocks with three circular plots (10 m in diameter). Only plots assigned to assisted natural regeneration (blue) were analyzed in this study.....	11
Figure 3. Community composition of seedlings in assisted natural regeneration plots by monitoring periods and sites. Panels show (A) species richness, (B) abundance, and (C) inverse Simpson index. Boxes represent the interquartile range, center lines indicate medians, and points correspond to individual plot values. Site-level differences were assessed using generalized linear models. Significant differences among sites are indicated by asterisks (Tukey-adjusted post hoc test, $p < 0.05$).	18
Figure 4. Species accumulation curves of seedlings by (A) monitoring period and (B) sites. Lines represent the mean accumulated species richness, and shaded areas indicate ± 1 standard deviation	19
Figure 5. Morphological traits of seedlings by monitoring periods and sites. Panels show (A) height (cm), (B) elongation (cm), and (C) basal diameter (mm). Boxes represent the interquartile range, center lines indicate medians, and points correspond to individual plot values. Asterisks indicate significant differences based on generalized linear models with Tukey-adjusted post hoc comparisons ($p < 0.05$).	21
Figure 6. Recruitment of seedlings by site during the second monitoring period. Boxes indicate the interquartile range, horizontal lines represent medians, and points show individual plot values. Asterisks denote significant differences among sites based on Tukey-adjusted post hoc test ($p < 0.05$)	23
Figure 7. Total restoration costs of assisted natural regeneration over 1.5 years (0,14 ha) are shown as stacked bars by operational phase and cost category.	28

Table 1. Environmental and soil properties in abandoned pastures of three study located in the Andes, Azuay province	9
Table 2. Survival probabilities and mortality of woody individuals across study sites during the monitoring period.....	22
Table 3. Indicator species identified for each site based on the IndVal index. Only species with significant associations ($p < 0.05$) are shown	24
Table 4. Costs of assisted natural regeneration (USD) by operational phase, cost category, and site.....	26
Figure S1. Community composition across monitoring periods within each study site. Boxplots show (A) species richness, (B) abundance, and (C) inverse Simpson index. Boxes represent the interquartile range, center lines indicate medians, and points correspond to individual plot values.....	47
Figure S2. Morphological traits across monitoring periods within each study site. Boxplots show (A) height (cm), (B) elongation (cm), and (C) basal diameter (mm). Boxes represent the interquartile range, the center line indicates medians, and points correspond to individual plot values.....	47
Figure S3. Kaplan-Meier survival curves of seedlings for each site over the 16-month monitoring period. Lines indicate estimated survival probabilities. A log-rank test indicated significant differences among sites ($p < 0.05$).	49
Table S1. Land-cover history (1990-2022) and site characterization, including dominant vegetation, grasses and forbs, and microsites, across study sites.	4
Table S2. Summary of generalized linear models (GLM) and generalized linear mixed models (GLMM) testing the influence of monitoring period and site on community composition, structure, and recruitment	51

RESUMEN

Los bosques andinos están en constante amenaza por la conversión a pastizales para la actividad ganadera, que con el tiempo, son abandonados por su baja productividad. Una de las estrategias para revertir esta degradación es la Regeneración Natural Asistida (RNA). Los objetivos de este estudio fueron: 1) Evaluar la RNA en pastizales abandonados en dos periodos de monitoreo (6 y 16 meses) en tres sitios; 2) Analizar los costos de la ARN en distintas fases. Para ello, se evaluaron los cambios en la composición de la comunidad, características estructurales, supervivencia, reclutamiento y especies indicadoras. Los costos de la ARN se categorizaron en cuatro fases: planificación, preparación del sitio, establecimiento de parcelas y monitoreo y análisis de datos. Los resultados mostraron que las condiciones específicas de cada sitio tuvieron un rol importante en la regeneración, mientras que no hubo diferencias significativas entre los periodos de monitoreo. En cuanto a los costos, las fases de planificación y monitoreo representaron los valores más elevados debido a los rubros de equipamiento, análisis de suelo en laboratorio y personal. Los hallazgos de este estudio indican que, en pastizales con pobre regeneración, es necesario implementar estrategias de restauración activa para la recuperación de los bosques.

Palabras clave: restauración pasiva, reclutamiento, rasgos morfológicos, condiciones ambientales, monitoreo de plantas, economía de la restauración.



Ximena Palomeque Ph.D.
DIRECTORA

ABSTRACT

Andean forests are increasingly threatened by conversion to pastures for livestock production, which are often abandoned over time due to declining productivity. Assisted Natural Regeneration (ANR) has been proposed as a strategy to reverse this degradation. The objectives of this study were: 1) to evaluate ANR in abandoned pastures across two monitoring periods (6 and 16 months) at three sites, and 2) to analyze the costs of ANR across different implementation phases. To this end, we assessed changes in community composition, structural attributes, survival, recruitment, and indicator species. ANR costs were categorized into four phases: planning, site preparation, plot establishment, and monitoring and data analysis. Results showed that site-specific conditions played a key role in regeneration dynamics, whereas no significant differences were detected between monitoring periods. In terms of costs, the planning and monitoring phases accounted for the highest expenditures, largely driven by equipment, laboratory soil analysis, and personnel. These findings suggest that in pastures with limited natural regeneration, active restoration strategies are required to promote forest recovery.

Keywords: passive restoration, recruitment, morphological traits, environmental conditions, plants monitoring, restoration economy.



Ximena Palomeque Ph.D.

DIRECTORA