



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y
GESTIÓN

TEMA:

Influencia de factores ecológicos en el establecimiento temprano de *Oreocallis grandiflora* luego de la siembra directa en una plantación de pino al sur del Ecuador

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Biólogo con mención en
Ecología y Gestión

AUTOR:

Vanessa Brigeth Moscoso Rodríguez

DIRECTOR:

PhD. Antonio Crespo Ampudia

Cuenca - Ecuador

2023

Dedicatoria

Esta investigación va dedicada a mi padre Fernando Moscoso, que con su sabiduría sembró en mí la curiosidad y sed de conocimiento. Me enseñó que lo puedo conseguir todo con mi propio esfuerzo y dedicación. Mis logros van para él, porque nada de esto sería posible sin su apoyo y amor incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre Julia Rodríguez y hermano Christian Moscoso que han sido pilar fundamental en mi vida. Ellos son los que con su cariño me han impulsado a seguir mis metas y cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Agradezco también a mis compañeros de titulación: Eva Guim, Thalía Ulloa, Santiago Bonilla y Valentino Jiménez por las horas compartidas, el arduo trabajo y sobre todo la amistad forjada.

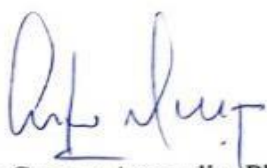
Por último, quiero agradecer al Laboratorio de Plantas Nativas de la Universidad del Azuay, especialmente a Antonio Crespo por su guía y consejos que me han permitido culminar esta etapa académica.

RESUMEN

Las plantaciones forestales de pino fueron implementadas en Ecuador a partir de 1980 sin un manejo forestal, provocando la pérdida de vegetación nativa y fertilidad del suelo. Nuestra meta es generar una propuesta para el manejo de plantaciones forestales de pino, mediante la siembra directa de especies nativas. Sembramos semillas de *Oreocallis grandiflora* bajo condiciones experimentales. Primero se removió el 25% de pinos y se aplicaron tres tratamientos de siembra: con presencia de acícula, en ausencia de acícula y con protección contra la herbivoría. Durante seis meses se monitorearon datos microclimáticos, emergencia, supervivencia y crecimiento. La probabilidad de supervivencia se vio afectada por la presencia de acícula ($P \leq 0,01$) quedando únicamente un individuo vivo al final del estudio. Se demostró que la supervivencia de plántulas es alta en ausencia de acícula, debido a sus características hidrófobas que impiden el establecimiento de las raíces en el sustrato.

Palabras clave: plantación forestal de pino, siembra directa, raleo, acícula, supervivencia.


Antonio Crespo Ampudia, Ph.D.
Coordinador de la Escuela



Antonio Crespo Ampudia, Ph.D.
Director del trabajo de titulación


Vanessa Moscoso
Estudiante

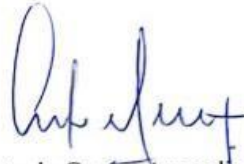
ABSTRACT

Pine forest plantations were implemented in Ecuador in 1980 without forest management, causing the loss of native vegetation and soil fertility. Our goal was to generate a proposal for the management of pine forest plantations, through the direct planting of native species. We sowed *Oreocallis grandiflora* seeds under experimental conditions. First, 25% of the pines were removed and three planting treatments were applied: with the presence of needles, without needles and with protection against herbivory. Microclimatic data, emergence, survival, and growth were monitored for six months. The probability of survival was affected by the presence of needles ($P \leq 0.01$), leaving only one individual alive at the end of the study. It was shown that seedling survival is high in the absence of a needle, due to its hydrophobic characteristics that prevent the establishment of roots in the substrate.

Keywords: Pine Forest plantation, direct seeding, thinning, pine needles, survival.



Antonio Crespo Ampudia, Ph.D.
School Coordinator



Antonio Crespo Ampudia, Ph.D.
Director of the degree project



Vanessa Moscoso
Student



Índice de contenidos

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
Índice de contenidos.....	6
Introducción	8
Metodología	12
<i>Sitio de estudio</i>	12
<i>Recolección de semillas de O. grandiflora y almacenamiento</i>	13
<i>Preparación del sitio y diseño experimental</i>	14
<i>Recopilación de datos</i>	16
<i>Análisis de datos</i>	17
Resultados	18
<i>Condiciones microclimáticas durante el período de estudio</i>	18
<i>Patrones de emergencia de semillas</i>	19
<i>Patrones de supervivencia de plántulas</i>	21
<i>Emergencia y supervivencia en área sin raleo</i>	22
<i>Patrones de crecimiento temprano</i>	24

Discusiones y conclusiones.....	25
Referencias.....	28
Anexos	33
Anexo 1. Reporte del software SigmaPlot para el análisis de supervivencia entre tratamientos con diferencia estadísticamente significativa	33
Anexo 2. Recolección de semillas de <i>Oreocallis grandiflora</i>	33
Anexo 3. Área de estudio	34
Anexo 4. Raleo del 25% en área de estudio.....	34
Anexo 5. Plántulas de <i>Oreocallis grandiflora</i>	35
Anexo 6. Protección contra la herbivoría.....	36

Introducción

Los Andes Tropicales son considerados como hotspot de biodiversidad a nivel mundial (Aguirre et al., 2019; Cerón et al., 2021; Jadán et al., 2017), Sin embargo, estos paisajes han sido degradados por la influencia antrópica, que afecta a la estructura y dinámica de la vegetación, generando procesos de fragmentación, degradación y pérdida de biodiversidad (Aguirre et al., 2019; Rochina & Nájera, 2020). Del mismo modo, la introducción de especies exóticas es un factor antrópico que ha ocurrido a lo largo de la historia de la humanidad y es catalogado como uno de los principales motores de alteración global de los ecosistemas y pérdida de los bienes y servicios que obtenemos de éstos (Boix, 2017).

Dentro de los paisajes del Ecuador se introdujeron especies exóticas mediante plantaciones forestales de especies pertenecientes al género *Pinus* con la finalidad de dar alternativas de uso industrial de la madera, producción de papel y control de erosión (Parrotta, 1992; Ansaloni & Chacón, 2003), así como también mejorar el ámbito económico y social del país (Díaz, 2017; Jadán et al., 2019). La mayoría de las plantaciones se establecieron sin estudios previos y muchas fueron abandonadas después de su siembra, por lo que, no se ha aplicado ningún mantenimiento ni control (Jadán et al., 2019).

Los resultados de la falta de manejo de la plantación, la influencia de las bajas temperaturas y fuerte radiación solar por efectos de elevación, se evidencian en que muchos pinos no pudieron crecer adecuadamente, quedando con tamaño pequeño y poco grosor del tronco, sin lograr un rendimiento productivo óptimo al tener que competir entre ellos (Vallejo & Zapata, 2018; Quiroz et al., 2019), además se han

reportado impactos negativos como la eliminación o desplazamiento de especies nativas por la competencia de recursos (Díaz, 2017; Jadán et al., 2019); la reducción en la calidad ambiental y acidificación del suelo debido a la difícil descomposición de la acícula por sus materiales recalcitrantes con lignina y compuestos polifenólicos. Pese a que una parte del material llega a descomponerse, este produce ácidos húmicos y fúlvicos que acidifican el suelo impidiendo el crecimiento de otras especies, puesto que se crean deficiencias de Ca, K, y a veces, toxicidad de Al (Ansaloni & Chacón, 2003), asimismo los altos requerimientos de agua del pino y la intercepción de la lluvia en el dosel disminuyen el agua disponible en el suelo para procesos de germinación, crecimiento y establecimiento de la vegetación (Quiroz et al., 2019). Wesenbeeck et al., (2003); Quiroz et al., (2019) sugieren que la aforestación con *Pinus patula* tiene una influencia negativa en la diversidad y composición de la vegetación; del mismo modo, la riqueza y cobertura de especies son menores dentro de estas plantaciones. Los resultados obtenidos por Quiroz et al., (2019), sugieren que en general la riqueza y cobertura de especies disminuye en plantaciones forestales de pino.

Es importante recalcar que la caída de acícula de pino es un mecanismo natural para el ciclo de nutrientes, puesto que determina la renovación y entrada de materia orgánica al suelo; no obstante, las plantaciones forestales de *Pinus* en el Ecuador no cuentan con una distancia apropiada de siembra, por tal motivo, se produce acumulación de acícula no controlada bajo los árboles y permite la formación de un colchón hidrófobo que impide la infiltración del agua en el suelo (Díaz, 2017). Sumando a ello, la limitada luz en el interior del bosque, ha reducido los recursos lumínicos y de suelo para otras especies, ocasionando un cambio en la estructura del paisaje volviéndolo más homogéneo y menos complejo (Angamarca, 2016). Una solución a este panorama, es el raleo de pinos que puede propiciar el aumento en la

productividad de plantas del sotobosque y, por ende, atraer a herbívoros tal como lo señala Huffman et al., (2015). Después de la eliminación controlada de pinos, las condiciones ambientales mejoran: disminuye la capa de acícula en el suelo, incrementando la cobertura de pasto en el sustrato; y aumenta en la disponibilidad de luz, de modo que su madera se vuelve más productiva por el aumento en el grosor de los árboles; también se considera una forma de reforestación más económica, debido a que al dejar áreas taladas estas se pueden regenerar naturalmente (Zanzarini et al., 2019; Piironen et al., 2015).

Por otro lado, la revegetación que recupera un ambiente degradado y promueve los procesos de sucesión vegetal, es importante entorno al enriquecimiento con especies forestales nativas que genera beneficios ambientales y sociales, mediante el empoderamiento de las comunidades locales sobre el área a revegetar (Erbaugh & Oldekop, 2018). En este contexto, se puede emplear técnicas de siembra directa de especies nativas para restablecer los servicios y funciones de los ecosistemas, se ha demostrado que este tipo de siembra es una alternativa más económica, ya que se recolectan las semillas de fuentes locales y se siembran directamente en los hábitats específicos para la restauración (Chumi & Quizhpi, 2018). Crespo & Inga, (2020) recomiendan la siembra directa como una técnica viable que se acomoda a la realidad financiera y geográfica de los agricultores, además permite superar barreras ecológicas para la regeneración natural de bosques, sin embargo, su éxito dependerá de la forma en la que se aplique la siembra directa.

En este contexto, una opción viable para la siembra directa es *Oreocallis grandiflora*. Esta es una especie de sucesión secundaria nativa de los Andes sur del Ecuador que tiene la capacidad de establecerse fácilmente en ecosistemas degradados, debido a su facultad asociativa y adaptativa a suelos ácidos y poco profundos (Crespo & Inga,

2020). Además, mantiene interacciones estrechas con polinizadores debido a sus inflorescencias disponibles durante todo el año (Cárdenas et al., 2020). Sin embargo, en sus estadios tempranos son vulnerables a la herbivoría, en donde los consumidores eligen cualquier parte de sus tejidos, lo que influye en su crecimiento, reproducción, y su supervivencia (Madriaza, 2017; Raffaele et al., 2014). Los herbívoros pueden llegar a impedir la regeneración natural, según Crespo & Inga (2020), la protección contra herbívoros influye positivamente en procesos de supervivencia y crecimiento, ya que podemos garantizar que las especies se adapten a las condiciones particulares de un ecosistema.

Según la bibliografía, la mayoría de investigadores se han enfocado en realizar experimentos en terrenos abandonados, degradados y ecosistemas diferentes a los bosques de pino. Concretamente en el sur del país, la evaluación empírica de los impactos de la luz, herbivoría y remoción de acícula en plantaciones de pino aún no ha sido probada. No se ha encontrado información al respecto, lo cual demuestra que esta investigación es pionera y permitirá documentar buenas prácticas para la restauración de paisajes forestales que es esencial para garantizar el flujo de servicios ecosistémicos vitales relacionados con los bosques, incluye la captura de carbono y conservación de la biodiversidad; combina la gestión adaptativa y la gobernanza de partes interesadas para unir la restauración y regeneración forestal con mejoras en los medios de vida locales, el bienestar y la resiliencia al cambio climático, es decir, existe un beneficio para el ecosistema y las comunidades que aprovechan los recursos de ecosistema (Erbaugh & Oldekop, 2018).

Este estudio se enfocó en analizar las respuestas de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de plántulas de *O. grandiflora* luego de la siembra directa en una plantación forestal de pino. Se aplicaron tres tratamientos experimentales: siembra

de semillas con presencia de acícula, siembra en ausencia de acícula y siembra con protección contra herbívoros medianos y grandes. Las preguntas abordadas en este estudio fueron: (a) ¿El incremento en la cantidad de luz en una plantación de *Pinus patula* favorece el proceso de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de plántulas de *Oreocallis grandiflora* luego de la siembra directa? (b) ¿El control de la herbivoría mejora las respuestas de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de plántulas de *Oreocallis grandiflora* luego de la siembra directa en una plantación de *Pinus patula*? y (c) ¿La remoción de acícula mejora las respuestas de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de plántulas de *Oreocallis grandiflora* luego de la siembra directa en una plantación de *Pinus patula*? Nuestra hipótesis central fue que el raleo tendría efectos positivos en la emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de *O. grandiflora*, además predijimos que la aplicación de los tratamientos mencionados mejoraría los procesos de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano de *O. grandiflora*.

Metodología

Sitio de estudio

Las parcelas experimentales del estudio fueron establecidas dentro de una plantación forestal de pino ubicada en la Estación Científica El Gullán de la Universidad del Azuay. La Estación está ubicada en la parroquia Las Nieves, cantón Nabón 17 M 702885.91 m E, 9631331.78 m S (Figura 1). Dentro de este paisaje podemos encontrar

formaciones vegetales como el matorral húmedo montano que contienen altos niveles de riqueza y endemismo (Aguirre et al., 2019; Cerón et al., 2021).

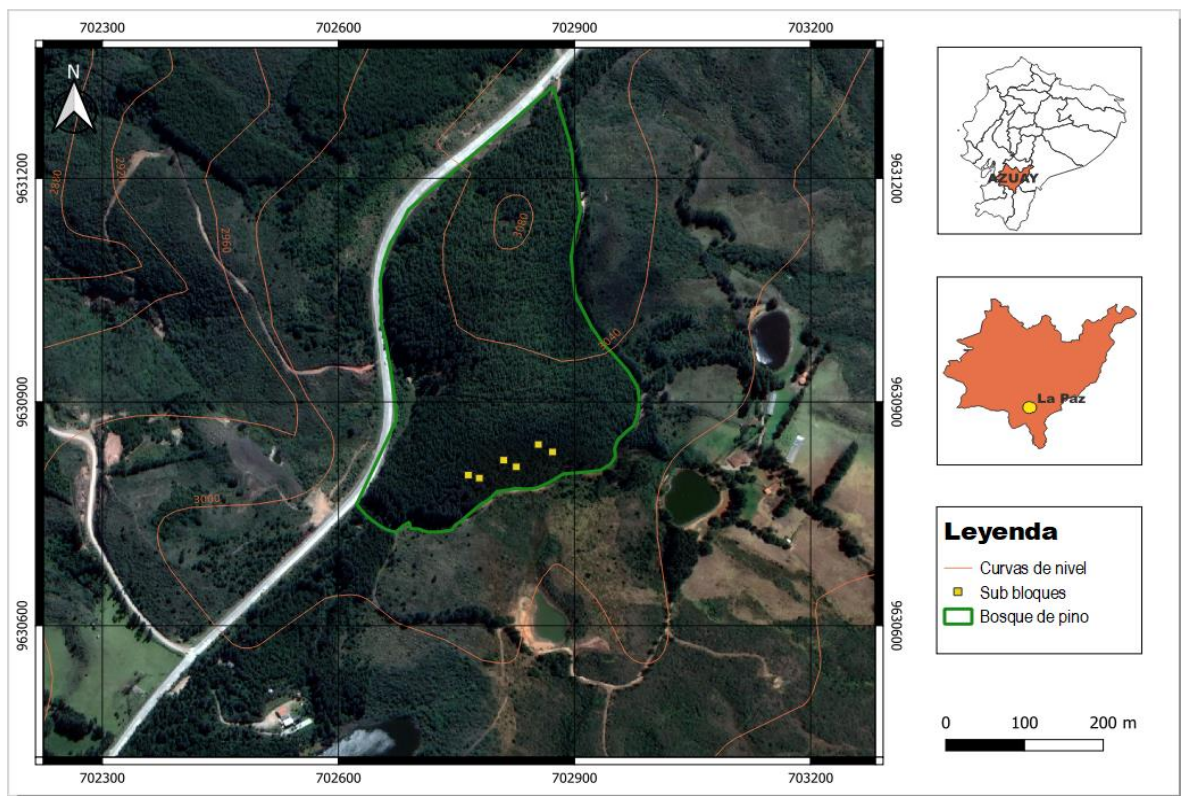


Figura 1. Plantación forestal de pino de la Estación Científica El Gullán, en la provincia del Azuay, cantón Nabón, parroquia La Paz. Se muestran los seis sub bloques donde se ubican los experimentos.

La precipitación anual del área de estudio tiene un promedio de 550 mm, una altitud de 3000 m.s.n.m. El clima que predomina es frío con un promedio de temperatura que oscila entre los 8°C y 20°C (Samaniego & García, 2020). Los tratamientos con siembra directa se establecieron en el mes de mayo, correspondiente al período húmedo con mayor precipitación.

Recolección de semillas de O. grandiflora y almacenamiento

Las semillas se recolectaron en un bosque natural próximo al área experimental entre los meses de marzo y mayo de 2022. Esto, de 8 árboles padres locales. Posteriormente, se sometió a un proceso de secado al aire libre para extraer las semillas del interior de las vainas recogidas; finalmente, se almacenaron las semillas en frascos de cristal por seis semanas antes de la siembra.

Preparación del sitio y diseño experimental

Para instalar las parcelas experimentales se escogieron tres áreas de la plantación de pino de aproximadamente 250 m² cada una que fueron raleadas en un 25% con la asistencia de técnicos forestales del sector. En cada área que recibió el raleo se instaló un bloque de 24 x 10 m dispuesto de forma vertical con respecto a la pendiente del terreno (Figura 2). Entre cada bloque, o sitio con raleo, se mantuvo una distancia mínima de 50 m.

Cada bloque fue dividido en dos sub-bloques con una distancia buffer de 4 m entre ellos. Dentro de cada sub-bloque se establecieron unidades experimentales de 2x2 m, a las cuales se les asignó un tratamiento específico de forma aleatoria.

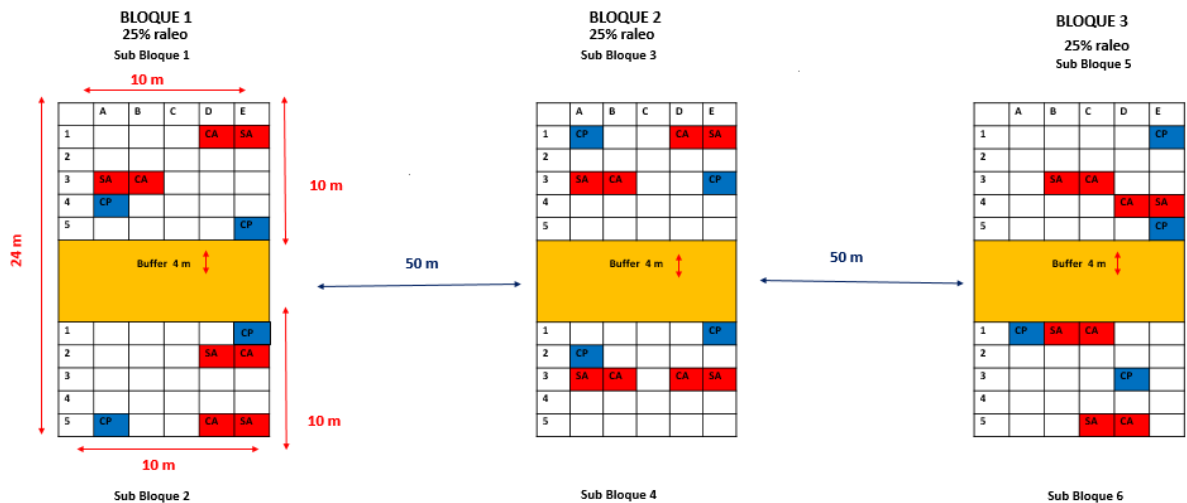
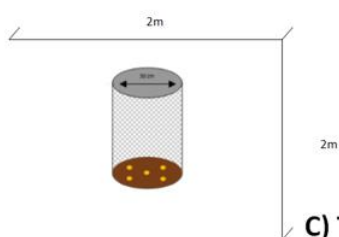


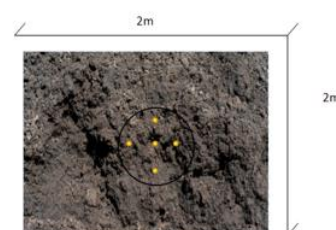
Figura 2. Croquis de la disposición de los bloques de 24 x 10 m, sub- bloques y parcelas en el bosque de pino dentro de la Estación Científica El Gullán. Las siglas dentro de las parcelas indican los nombres de los tratamientos 1) CP: con protección; 2) SA: sin acícula; 3) CA: Siembra de semillas con acícula. Elaboración propia.

Los tratamientos incluyeron: 1) Protección contra la herbivoría de mamíferos pequeños (CP). Para este tratamiento se construyeron cilindros de 30 cm de diámetro con malla hexagonal de $\frac{5}{8}$ " , en su interior se removió toda la acícula de pino previo a la siembra de cinco semillas, bajo 5 cm de profundidad, una vez que se llegó al suelo (Figura 3). 2) Siembra directa de semillas con acícula (CA). En este tratamiento se mantuvo la acícula como sustrato y sembraron las cinco semillas bajo una capa de 5 cm de acícula. 3) Siembra directa de semillas sin acícula (SA). Aquí se removió una capa de acícula de 30 cm aproximadamente con la finalidad de llegar al suelo y se sembraron cinco semillas a 5 cm bajo el suelo. (Figura 3).

A) Tratamiento con protección (CP)



B) Tratamiento sin acícula (SA)



C) Tratamiento con acícula (CA)



● Semillas de *O. grandiflora*

Figura 3. Tratamientos con siembra directa de *O. grandiflora*: A) Siembra de semillas con protección a la herbivoría de mamíferos pequeños (CP); B) Siembra de semillas sin acícula (SA) y C) Siembra de semillas con acícula (CA). Elaboración propia.

Se establecieron 4 unidades experimentales por tratamiento en cada bloque, al ser tres tratamientos diferentes, contamos con 12 unidades experimentales por bloque; siendo un total de 36 unidades experimentales para toda la investigación. En cada una de ellas se sembraron cinco semillas de *O. grandiflora*, por lo tanto, cada tratamiento dispone de 60 semillas, 180 semillas el número total resultado de la siembra directa. Además, se implementaron ocho unidades experimentales con protección contra herbívoros en un área sin manejo, es decir, sin raleo ni remoción de acícula.

Recopilación de datos

Los datos microclimáticos incluyeron medidas de luz y temperatura en lux y °C, respectivamente, registrados por data loggers HOBO Onset Modelo UA-002-08. Se utilizaron tres data loggers; uno en el área sin manejo, y otros dos en dos bloques experimentales distintos. Los datos fueron descargados y procesados cada 15 días durante 3 meses después de la siembra directa.

Los datos de germinación se colectaron cada quince días durante doce semanas, mientras que la supervivencia de plántulas fue registrada una vez por mes hasta la semana 24 después de la siembra. Para el crecimiento temprano se tomó una sola medida de altura y diámetro basal al final del período de observación, 24 semanas después de la siembra. Para la altura se midió el tamaño de cada planta desde el suelo hasta la base del meristema terminal, para y el diámetro basal se midió el grosor del tallo en el punto en que el tallo emerge fuera del suelo (Crespo & Inga 2020); estas medidas fueron tomadas con la ayuda de un calibrador.

Análisis de datos

Los datos microclimáticos se analizaron en el software HOBOWare para obtener los promedios de temperatura (°C) máxima y mínima e intensidades promedio de luz (lux) máxima y mínima para el período de estudio. Para los datos de emergencia y supervivencia se utilizó un análisis de supervivencia con el método Kaplan-Meier en el software SigmaPlot (v. 12.0, Systat Software, Inc.). Este análisis que permite estimar la probabilidad de que un evento no ocurra en un tiempo determinado, tomando como base variables categóricas (Abraira et al., 1996; García, 2012); en este caso las variables fueron la emergencia de plántulas durante 12 semanas y la muerte de plántulas durante 22 semanas. Para comparar estadísticamente las curvas de emergencia y supervivencia de *O. grandiflora* en cada tratamiento se aplicó la prueba Log Rank que compara dos o más curvas en una variable de tiempo (Brun & Salazar, 2016), con la estadística Log Rank probamos la hipótesis nula de que los patrones temporales de emergencia y supervivencia fueron los mismos entre los tres

tratamientos de siembra. Si los patrones fueron distintos entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple por pares con el método Bonferroni (alfa 0.05). Para los datos de crecimiento temprano se utilizó un test ANOVA de una vía para probar la hipótesis nula de que los promedios de crecimiento vertical (altura) y diametral (diámetro basal) fueron iguales entre los tratamientos de siembra.

Resultados

Condiciones microclimáticas durante el período de estudio

Los promedios mínimos y máximos de temperatura fueron 11,88 °C y 16,73 °C, respectivamente, para las áreas con raleo del 25%. Mientras para el área sin raleo, los promedios mínimos y máximos fueron de 8,95 °C y 14,52 °C, respectivamente (Figura 4).

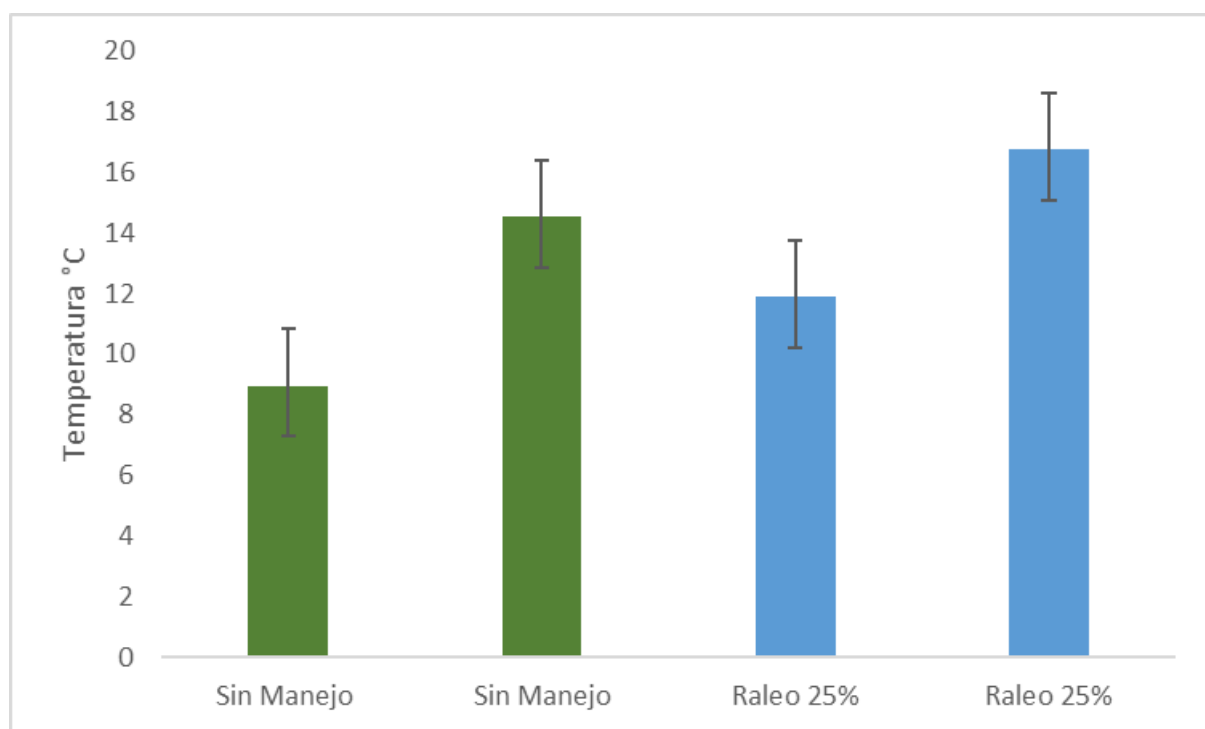


Figura 4. Comparación de temperatura promedio (°C) entre bloques. Elaboración propia.

Los promedios mínimos y máximos de intensidad de luz fueron 3657,3 Lux y 54079,8 Lux, respectivamente, para las áreas con raleo del 25%. Mientras para el área sin raleo, los promedios mínimos y máximos fueron de 1262,5 Lux y 3834,2 Lux, respectivamente (Figura 5).

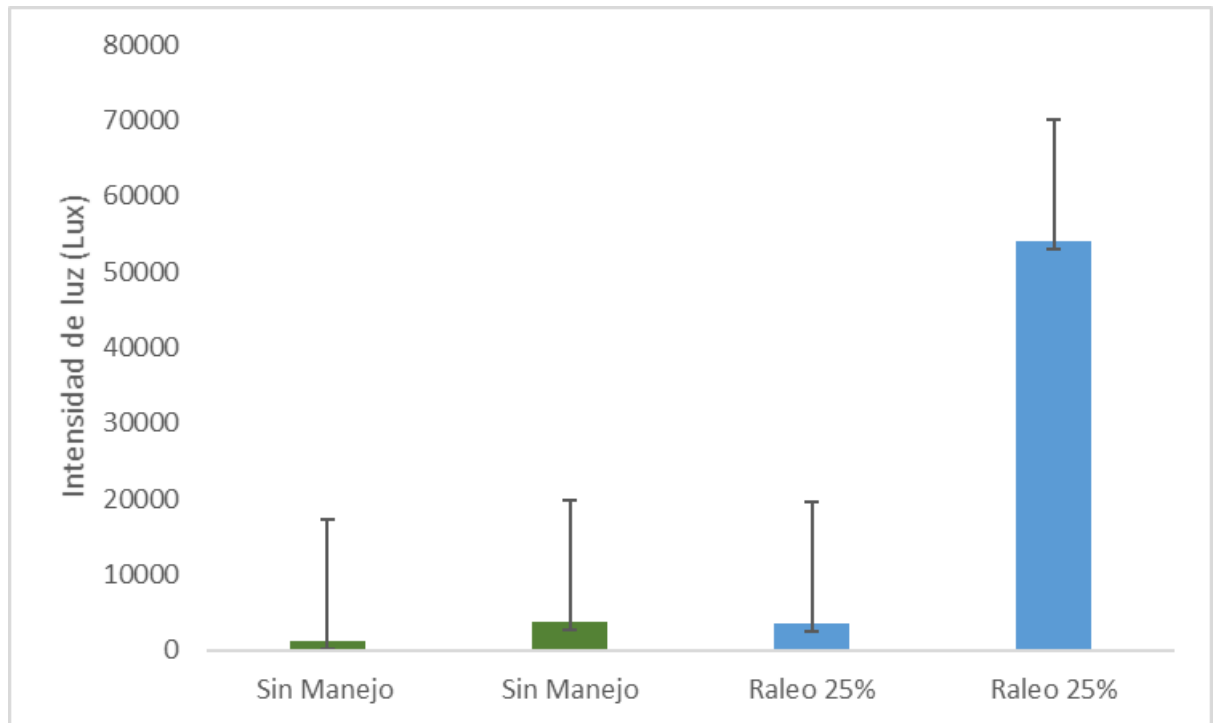


Figura 5. Comparación de intensidad de luz (Lux) entre bloques. Elaboración propia.

En cuanto a la precipitación, la media fue mayor en mayo, con un promedio de 0.015 mm y disminuyó significativamente en los meses posteriores. Es probable que la disminución de humedad en el sustrato haya influido en el éxito en la supervivencia y crecimiento de las plántulas.

Patrones de emergencia de semillas

Luego de doce semanas, se pudo observar la emergencia de plántulas en los tres tratamientos de siembra, pero con patrones distintos. Por ejemplo, en el tratamiento de siembra directa de *O. grandiflora* con presencia de acícula (CA) emergieron un 55% de las semillas; cabe recalcar que, el pico más alto de emergencia se dio en la semana cuatro. En cuanto al tratamiento sin acícula, emergieron un 53% de las semillas durante las doce semanas determinadas, sin embargo, el pico más alto de emergencia se dio durante la semana seis y ocho. Finalmente, para el tratamiento con protección a la herbivoría de mamíferos (CP) emergieron un 50% de las semillas y su pico más alto de emergencia fue durante la semana ocho (Figura 6). A pesar de estas diferencias entre los patrones temporales, las curvas de probabilidad de emergencia no variaron significativamente entre los tratamientos ($P \leq 0,332$) en base al test Log-Rank.

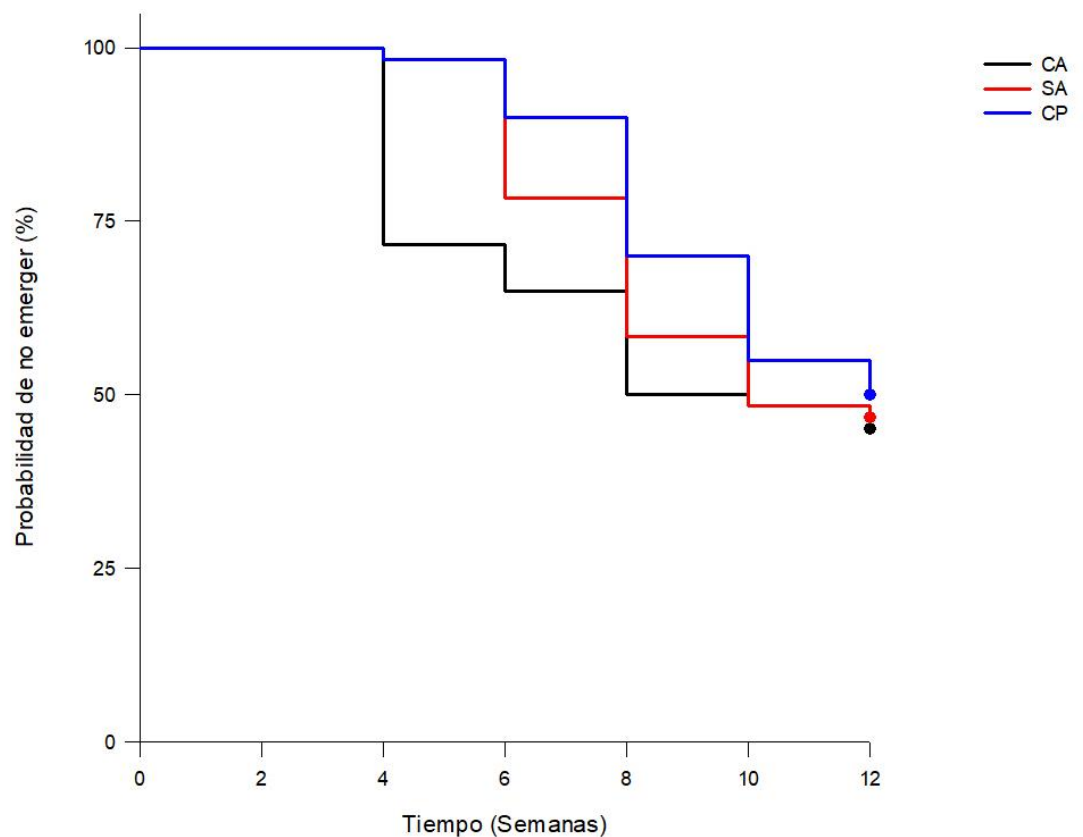


Figura 6. Emergencia de *Oreocallis grandiflora* en tres tratamientos de siembra: con acícula (CA), sin acícula (SA) y con protección de mamíferos pequeños (CP), durante doce semanas

Patrones de supervivencia de plántulas

Luego de catorce semanas después de la siembra se tomó como base el número de plántulas establecidas después del período de emergencia, el porcentaje de supervivencia de las plántulas fue alto (6% de individuos muertos) para los tratamientos sin acícula y con protección contra herbivoría, cuyos picos de mortalidad se presentan en la semana 22. No obstante, el tratamiento de siembra directa con presencia de acícula reportó solo un individuo vivo de 31 plántulas que sobrevivieron hasta la semana catorce, el pico más alto de mortalidad se registra durante la semana veinte y dos (Figura 7).

Los tratamientos de siembra tuvieron un efecto significativo sobre las probabilidades de supervivencia, el test Log-Rank arrojó un valor de $P \leq 0,01$ ($< P \leq 0,05$). En consecuencia, el análisis de comparaciones múltiples por pares dio como resultado diferencias significativas entre los tratamientos con y sin acícula ($P \leq 0,000000000979$), para los tratamientos con acícula y con protección ($P \leq 0,00000000895$) y ninguna entre los tratamientos sin acícula y con protección ($P=1,00$). Por lo tanto, se registró un mayor número de plántulas sobrevivientes en los tratamientos sin presencia de acícula (tratamientos: SA y CP), con porcentajes de 87,5% y 86,2%, respectivamente.

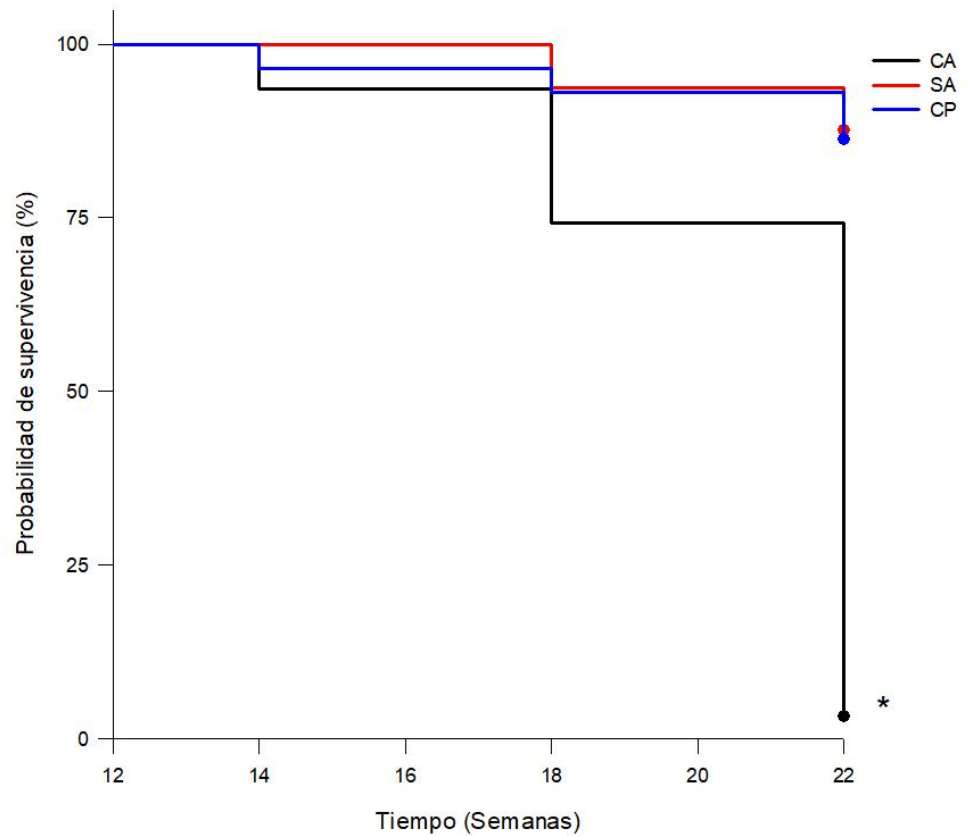
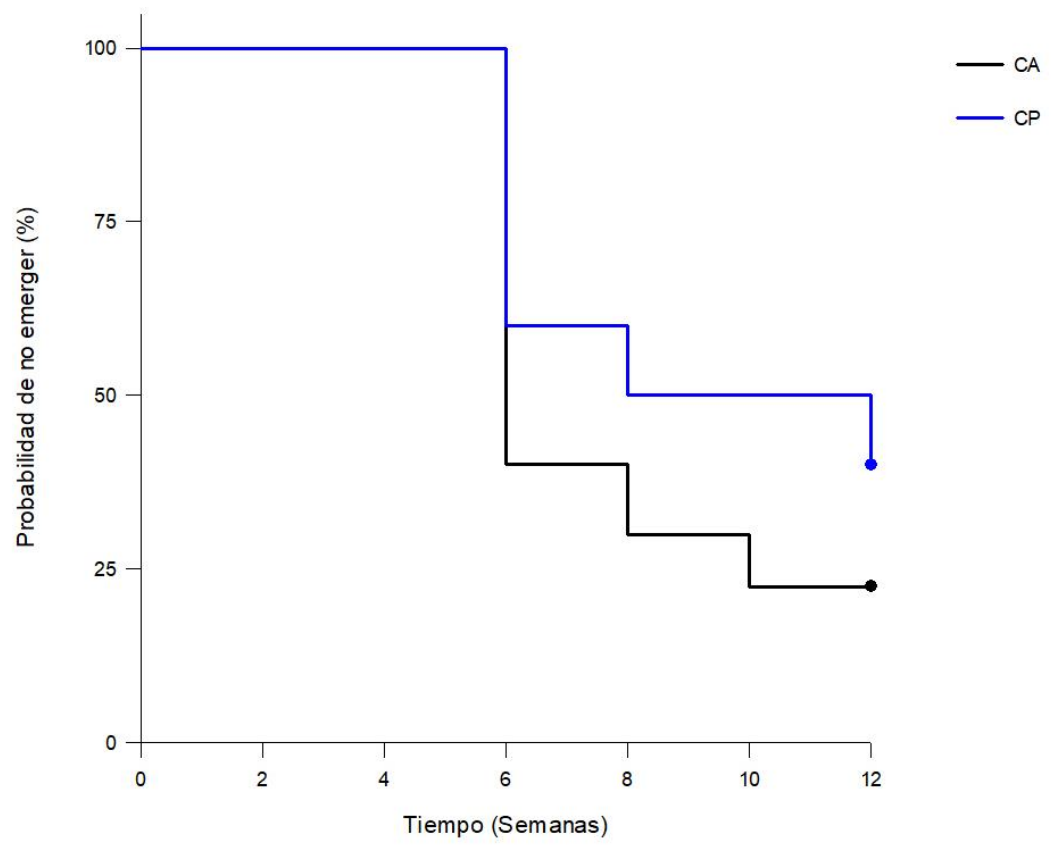


Figura 7. Supervivencia de *Oreocallis grandiflora* en tres tratamientos de siembra: con acícula (CA), sin acícula (SA) y con protección de mamíferos pequeños (CP), durante diez semanas

Emergencia y supervivencia en área sin raleo

En el área sin raleo se mantuvieron las condiciones naturales de la plantación de pinos, es decir, no se removió la capa de acícula para la siembra directa. En el tratamiento con acícula se sembraron 40 semillas de las cuales emergieron un 77,5% durante doce semanas de observación, de las cuales sobrevivieron únicamente el 16,13%. Mientras que, en el tratamiento con protección de herbivoría se sembraron 20 semillas, emergieron el 60% y sobrevivieron el 16,66% de las plántulas luego de veinte y dos semanas después de la siembra.

a)



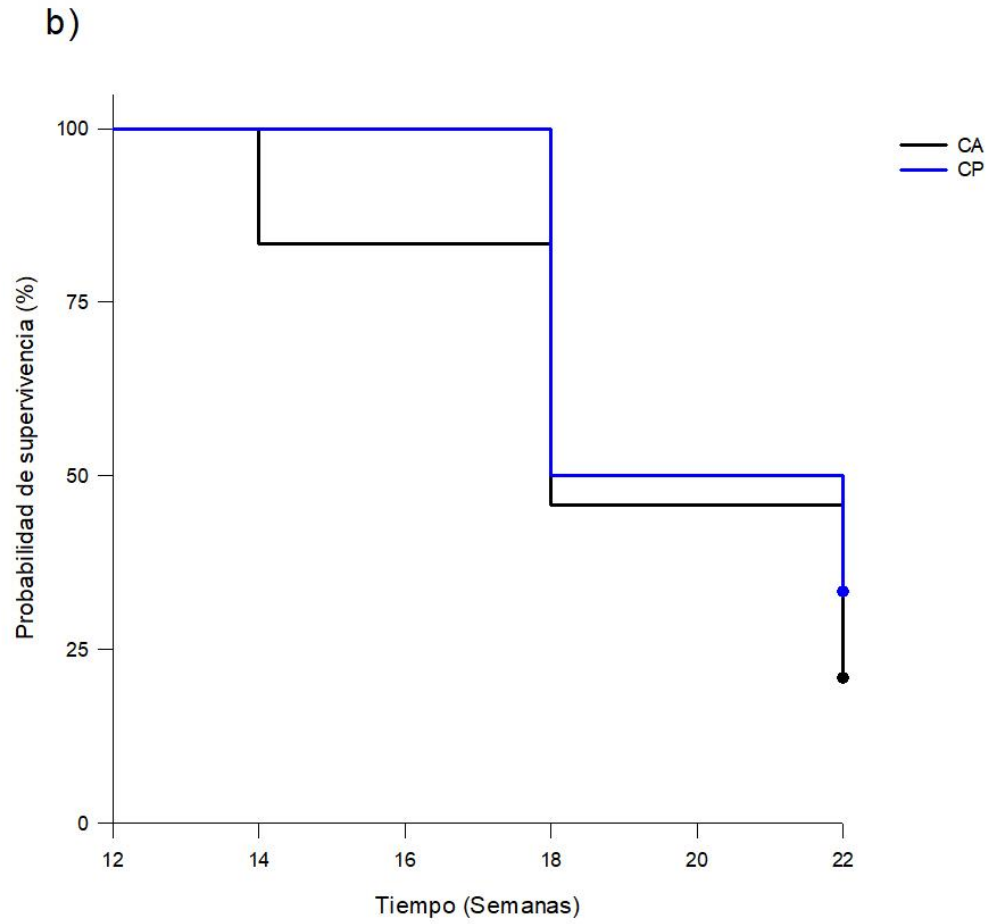


Figura 8. (a) Emergencia y (b) supervivencia de *Oreocallis grandiflora* en área sin raleo: con acícula (CA) y con protección de mamíferos pequeños (CP).

Patrones de crecimiento temprano

En general el crecimiento en altura de las plántulas sobrevivientes varió entre los 0,3 cm hasta los 3,00 cm para todos los tratamientos. Es importante considerar que el tratamiento con acícula (CA) contó únicamente con un individuo sobreviviente, el mismo que tiene una altura de 1,8 cm. El tratamiento sin acícula (SA) tuvo un promedio de crecimiento de 1,34 cm y el tratamiento con protección (CP) 1,10 cm de altura. En cuanto el diámetro basal, los datos obtenidos en todos los tratamientos eran inferiores a 1,00 mm, por lo tanto, no eran relevantes para su interpretación. Los análisis de ANOVA presentaron tendencias similares entre los tres tratamientos

aplicados, es decir que el promedio de crecimiento de *O. grandiflora* no difirió significativamente entre los tratamientos $P \leq 0,066$ ($> P = 0,05$). En todos los casos, las plántulas crecieron de forma similar durante las veinte y dos semanas de observación.

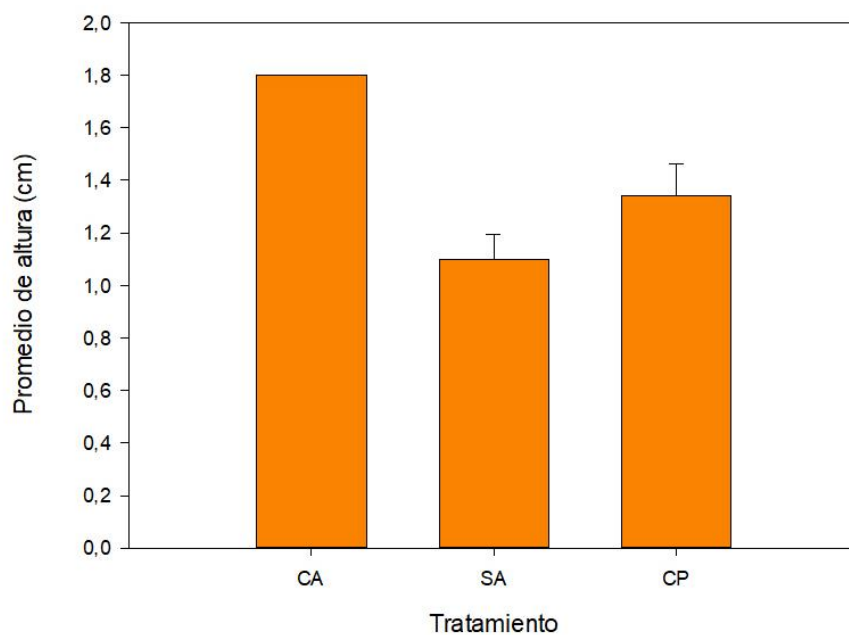


Figura 9. Promedio de crecimiento temprano en plántulas de *O. grandiflora* entre tratamientos con acícula (CA), sin acícula (SA) y con protección contra la herbivoría de mamíferos pequeños.

Discusiones y conclusiones

Los resultados de este estudio permiten recomendar la siembra directa de *O. grandiflora* como una herramienta para el enriquecimiento de la cubierta forestal nativa en plantaciones de pino. Las respuestas de las semillas a los tratamientos experimentales aplicados nos indica que la siembra directa en plantaciones forestales de pino con características biofísicas similares a las de la parroquia Las Nieves, cantón Nabón, puede ser exitosa siguiendo las consideraciones que se describen a continuación.

En primera instancia, es imprescindible preparar correctamente los terrenos en los que se realizará la siembra. Esto implica remover la acícula hasta llegar al suelo como sustrato, si bien es cierto, los resultados nos han demostrado que en presencia de acícula puede ocurrir la emergencia de semillas de *O. grandiflora*. Creemos que esto sucede por la capacidad de retener la humedad en la acícula, es así como las semillas pueden aprovechar el recurso disponible (agua) y emerger exitosamente. No obstante, la supervivencia de las plántulas disminuye drásticamente en presencia de acícula, creemos que la causa principal es que la densa cubierta de acícula dificulta el paso de la raíz al suelo, de modo que no logra absorber nutrientes y muere después de la cuarta o quinta semana después de la emergencia. Cabe recalcar, que la acícula tiene características hidrofóbicas que repelen el agua (Díaz, 2017), debido a que la superficie está cubierta con una fina película de cera y la presencia de células epidérmicas papilosas que proporcionan rugosidad en su estructura (Burton & Bhushan, 2006), estas características permiten que el agua de lluvia no ingrese al sustrato y que las plántulas carezcan de los nutrientes necesarios para su supervivencia.

En segunda instancia, se debe considerar la fertilización del suelo, ya que la mortalidad en plántulas sembradas sin acícula lo atribuimos a la poca disponibilidad de agua y nutrientes del sustrato, lo cual concuerda con lo mencionado por Hofstede et al., (2002) que bajo plantaciones de pino existen valores más bajos de contenido de humedad, agua disponible, contenido de MO, retención de P y textura en comparación a ecosistemas naturales; además la acícula es un material que se descompone muy lentamente debido a sus bajas concentraciones de nutrientes y alto contenido de lignina (Chae et al., 2019), es por esto que no existe un reciclaje de nutrientes óptimo. Por tal motivo, es necesario enriquecer el suelo con materia orgánica, tal como lo señala

Trentini et al., (2017) las respuestas de la vegetación dependen de la composición de los recursos disponibles.

Finalmente, se debe considerar la protección que requieren las plántulas en estadíos iniciales para asegurar su supervivencia. A pesar de que el sistema de protección con mallas metálicas para evitar la herbivoría de mamíferos pequeños fue exitosa, ya que ninguna plántula se vio afectada por este factor, creemos que este tratamiento no influye en el proceso de emergencia y supervivencia. No obstante, es conveniente enfatizar que sí se evidenció herbivoría de insectos, lo cual pudo tener repercusiones en la mortalidad de las plántulas.

Adicionalmente, los efectos del raleo en la siembra directa exponen un porcentaje de plántulas que sobrevivieron de forma exitosa, lo que se podría atribuir a la mayor incidencia de luz gracias a la eliminación del 25% de la cubierta densa del dosel, tal como lo mencionamos anteriormente, a más del raleo se necesita de técnicas de fertilización para mejorar la calidad y rendimiento de las plantaciones (Grigoreva et al., 2022),

Considerando el alto valor ecológico y económico del matorral húmedo montano, es necesario el manejo sostenible del ecosistema, de manera que se pueda obtener ganancias económicas de su madera y otros recursos, causando el menor impacto posible; por esta razón recomendamos para futuras investigaciones de revegetación con especies nativas en plantaciones forestales de pino, tomar en cuenta aspectos como: retirar acícula del suelo para evitar problemas en su supervivencia y también proporcionarle un tratamiento al sustrato para enriquecerlo, en consecuencia se podrían perfeccionar los procesos de emergencia, supervivencia y crecimiento temprano.

Referencias

- Abraira, V., Ortuño, J., Quereda, C., & Fernández, M. (1996). Curvas de supervivencia y modelos de regresión: errores y aciertos en la metodología de aplicación. *Nefrología*, 16(5), 383-390.
- Aguirre, Z., Gaona, T., Granda, V., & Carrión, J. (2019). Supervivencia, mortalidad y crecimiento de tres especies forestales plantadas en matorral andino en el sur del Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(3), 325-340.
- Angamarca, J. (2016). *Investigación del impacto ambiental por las plantaciones de pino en la granja Shiñinguro en el cantón Chilla* [Tesis de maestría]. Repositorio-UG.
- Ansaloni, R. & Chacón, G. (2003). Interacción suelo, vegetación y agua: el efecto de las plantaciones de pino en ecosistemas altoandinos del Azuay y Cañar. *Revista Universidad Verdad de la Universidad del Azuay*, (31), 1-11.
- Boix Pozuelo, R. J. (2017). Flora alóctona de la comarca de l'Alacantí-Introducción, naturalización e invasión de especies vegetales exóticas en la provincia de Alicante.
- Burton, Z., & Bhushan, B. (2006). Surface characterization and adhesion and friction properties of hydrophobic leaf surfaces. *Ultramicroscopy*, 106(8-9), 709-719.
- Brun, L. P., & Salazar, J. C. (2016). Efecto de la censura informativa sobre la potencia de algunas pruebas tipo Log-Rank. *Ciencia en Desarrollo*, 7(1), 45-53.
- Cárdenas, J., Landázuri, B., Mogrovejo, G., Crespo, A., Breitbach, N., Schleuning, M & Tinoco, B. A. (2020). Pollinator effectiveness in the mixed-pollination

- system of a Neotropical Proteaceae, *Oreocallis grandiflora*. *Journal of Pollination Ecology*, 26.
- Cerón, C., Tello, C., & Simbaña, W. (2021). Contribución al conocimiento de la diversidad biológica, florística y etnobotánica del Volcán Ilaló, Quito DM, Pichincha–Ecuador. *CINCHONIA*, 16(1), 13-122.
- Chae, H. M., Choi, S. H., Lee, S. H., Cha, S., Yang, K. C., & Shim, J. K. (2019). Effect of litter quality on needle decomposition for four pine species in Korea. *Forests*, 10(5), 371.
- Chumi, M., & Quizhpi, L. (2018). *Influencia de técnicas de siembra directa para Oreocallis grandiflora (Lam.) R. Br. y Viburnum triphyllum Benth., en dos Ecosistemas del Sur del Ecuador* [Tesis de pregrado]. Repositorio UDA
- Crespo, A., & Inga, D. (2020). De la parcela al paisaje: restauración forestal en los Andes ecuatorianos. *Editorial FLACSO Ecuador, Quito, Ecuador*.
- Díaz, C. (2017). *Uso de biochar de acícula de pino (Pinus patula) como enmienda de suelo negro andino (Andosol)* [Tesis de maestría]. Repositorio UDA
- Erbaugh, J. T., & Oldekop, J. A. (2018). Forest landscape restoration for livelihoods and well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 32, 76-83.
- García, J. (2012). Análisis de supervivencia aplicado al estudio de la mortalidad en injertos de inchi (*Caryodendron orinocense* Karsten). *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 759-769.
- Grigoreva, O., Runova, E., Savchenkova, V., Hertz, E., Voronova, A., Ivanov, V., Shvetsova, V., Grigorev, I & Lavrov, M. (2022). Comparative analysis of thinning techniques in pine forests. *Journal of Forestry Research*, 33(4), 1145-1156.

- Hofstede, RG, Groenendijk, JP, Coppus, R., Fehse, JC y Sevink, J. (2002). Impacto de las plantaciones de pino en suelos y vegetación en los altos andes ecuatorianos. *Investigación y Desarrollo de Montañas*, 22 (2), 159-167.
- Huffman, D., Springer, J. & Chancellor, W. (2015). Long-term Herbivore Exclusion for Recovery of Buckbrush (*Ceanothus fendleri*) Populations During Restoration of Ponderosa Pine Forests in Northern Arizona. *Ecological Restoration*, 33(3), 274-281
- Jadán, O., Toledo, C., Tepán, B., Cedillo, H., Peralta, Á., Zea, P., Castro, P., & Vaca, C. (2017). Comunidades forestales en bosques secundarios alto-andinos (Azuay, Ecuador). *Bosque (Valdivia)*, 38 (1), 141-154.
- Jadán, O., Cedillo, H., Pillacela, P., Gualpa, D., Gordillo, A., Zea, P., Díaz, L., Bermúdez, F., Arciniegas, A., Quizpe, W., & Vaca, C. (2019). Regeneración de árboles en ecosistemas naturales y plantaciones de *Pinus patula* (Pinaceae) dentro de un gradiente altitudinal andino (Azuay, Ecuador). *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 182-195.
- Madriaza, A. (2017). *Luz y Herbivoría: Factores a considerar en la distribución de especies leñosas del bosque templado lluvioso del sur de Chile*. [Tesis de Maestría], Universidad de Concepción. Repositorio institucional- UDEC.
- Parrotta, J. A. (1992). The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 41(2), 115-133.
- Piironen, T., Nyeko, P., & Roininen, H. (2015). Natural establishment of indigenous trees under planted nuclei: a study from a clear-felled pine plantation in an afro-tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 345, 21-28.

- Quiroz, C., Marín, F., Arias, R., Crespo, P., Weber, M., & Palomeque, X. (2019). Comparison of natural regeneration in natural grassland and pine plantations across an elevational gradient in the Páramo ecosystem of southern Ecuador. *Forests*, 10(9), 745.
- Raffaele, E., de Torres Curth, M., Morales, C. L., & Kitzberger, T. (Eds.). (2014). *Ecología e historia natural de la Patagonia Andina: un cuarto de siglo de investigación en biogeografía, ecología y conservación*. Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue.
- Rochina, W., & Nájera, K. (2020). *Evaluación de la conectividad del paisaje boscoso de la cuenca del Río Mira: bases para su conservación* [Tesis de pregrado]. Repositorio UTN.
- Samaniego, I., & García, J. (2020). *Estudios para el mejoramiento del sistema de riego en las comunidades de Villastán, San José, Morasloma, Lluchin y Hermano Miguel pertenecientes al cantón Nabón, sustitución de canal abierto por tuberías a presión* [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad del Azuay
- Trentini, C. P., Campanello, P. I., Villagra, M., Ritter, L., Ares, A., & Goldstein, G. (2017). Thinning of loblolly pine plantations in subtropical Argentina: Impact on microclimate and understory vegetation. *Forest Ecology and Management*, 384, 236-247.
- Vallejo, A., & Zapata, F. (2018). Pino pátula. *Forestal Maderero*. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/pino-patula.html>
- Wesenbeeck, B. K., van Mourik, T., Duivenvoorden, J. F., & Cleef, A. M. (2003). Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subpáramo

vegetation: a case study from Colombia. *Biological Conservation*, 114(2), 207-218.

Zanzarini, V., Zanchetta, D., & Fidelis, A. (2019). Do we need intervention after pine tree removal? The use of different management techniques to enhance Cerrado natural regeneration. *Perspectives in ecology and conservation*, 17(3), 146-150.

Anexos

Anexo 1. Reporte del software SigmaPlot para el análisis de supervivencia entre tratamientos con diferencia estadísticamente significativa

Data Summary:

Group	Total	Missing	Events	Censored	Percent Censored	Median Time
CA	31	0	30	1	3	22,000
SA	32	0	4	28	88	--
CP	29	0	4	25	86	--
Overall	92	0	38	54	59	

Log-Rank Test:

Statistic	DF	P Value
56,673	2	<0,001

The log rank statistic for the survival curves is greater that would be expected by chance; there is a statistically significant difference between survival curves ($P = <0,001$).

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

Multiple Comparisons:

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Bonferroni method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons	Statistic	P Value	Significant?
CA vs. SA	39,510	0,000000000979	Yes
CA vs. CP	35,196	0,00000000895	Yes
SA vs. CP	0,0276	1,000	No

Anexo 2. Recolección de semillas de *Oreocallis grandiflora*



Anexo 3. Área de estudio



Anexo 4. Raleo del 25% en área de estudio



Anexo 5. Plántulas de *Oreocallis grandiflora*



Anexo 6. Protección contra la herbivoría

