



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**Efecto de enmiendas de suelo y protección contra herbívoros
en la siembra directa de *Oreocallis grandiflora* en pastizales
abandonados**

**Trabajo previo a la obtención del título de:
MAGISTER EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Nombre del Autor:
María Paz Abril Ruilova

Nombre del director:
Antonio Manuel Crespo Ampudia

**Cuenca – Ecuador
2024**

Agradecimientos

A la Empresa Pública Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC SUR, por financiar este proyecto de investigación.

Al equipo del Laboratorio de Plantas Nativas de la Universidad del Azuay, por su apoyo en campo.

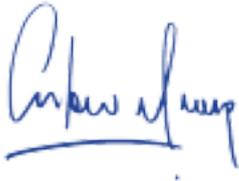
Al Biólogo Josué López, por su gran participación y colaboración en campo.

Al profesor David Siddons, por su ayuda y apoyo en los análisis estadísticos.

Resumen

En los Andes, el pastoreo y la agricultura generan impactos ecológicos crecientes. Los embalses hidroeléctricos, como el de Mazar, dependen de la cobertura vegetal para mantener el nivel de agua y la estabilidad del terreno. CELEC-SUR ejecuta actividades de recuperación forestal en esta área, incluyendo experimentos de siembra directa con *Oreocallis grandiflora*. Los insectos afectan el establecimiento de esta especie, y factores del suelo inciden en su emergencia y supervivencia. Los tratamientos de protección contra herbivoría y enmiendas influyen en el crecimiento y estado de las plántulas, pues sin ningún tipo de tratamiento el valor de crecimiento es negativo ($E.ST = -0.22772$ y $p = 0.0069$). La herbivoría no se relaciona con la mortalidad. El sitio de estudio es determinante en todas las respuestas, aunque no se identifica la variable específica influyente.

Palabras clave: restauración ecológica, restauración activa, siembra directa, sucesión secundaria, pastizales degradados.

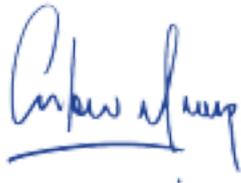


Firma del Director

Abstract

In the Andes, grazing and agriculture generate increasing ecological impacts. Hydroelectric dams, such as Mazar, depend on vegetation cover to maintain optimal water levels and aid in terrain stability. CELEC-SUR conducts forest recovery activities in this area, including direct sowing experiments with *Oreocallis grandiflora*. Insects affect its establishment, and soil factors influence its emergence and survival. Protection treatments and soil amendments influence the growth and condition of seedlings, as without any treatment, the growth rate is negative (E.ST= -0.22772 and p= 0.0069). Herbivory is not associated with mortality. The study site is decisive in all responses, although the specific influencing variable is not identified.

Keywords: ecological restoration, active restoration, direct sowing, secondary succession, degraded grasslands

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Antonio Alvarado', with a horizontal line underneath the name.

Firma del Director

Índice de contenidos:

Introducción:	7
Metodología	11
Área de estudio	11
Especie de estudio	12
Colecta de semillas	13
Diseño experimental	13
Colección de datos	15
Análisis estadísticos	15
Resultados	17
Emergencia y supervivencia	17
Crecimiento y número de hojas	21
Relación entre la herbivoría y la mortalidad	22
Discusión	23
Emergencia y Supervivencia	23
Crecimiento	26
Relación entre herbivoría y mortalidad	27
Influencia del sitio	28
Conclusión	29
Recomendaciones	30
Referencias	31
Anexos	37

Índice de figuras, tablas y anexos

Figura 1	12
Figura 2.	15
Figura 3.	18
Tabla 1.	18
Figura 4.	20
Tabla 2.	20
Figura 5.	20
Figura 6.	21
Figura 7.	22
Figura 8.	23
Anexo 1.	37
Anexo 2.	38
Anexo 3.	39
Anexo 4.	39
Anexo 5.	40
Anexo 6.	41
Anexo 7.	41
Anexo 8.	42
Anexo 9	43

Efecto de enmiendas de suelo y protección contra herbívoros en la siembra directa de *Oreocallis grandiflora* en pastizales abandonados

Introducción:

La restauración de zonas degradadas es un desafío, pues regresar un ecosistema a su estado original no siempre es posible (Holl & Brancalion, 2020). Las causas de la degradación y pérdida de ecosistemas son amplias e incluyen el desarrollo urbano, políticas que no consideran el uso de suelo, contaminación, entre otras (Holl & Brancalion, 2020). Para restaurar ecosistemas degradados se requiere abordar las causas de la degradación, planificar adecuadamente los proyectos, seleccionar la técnica de restauración y las especies adecuadas e incluso permitir la regeneración natural de los sitios; por lo que no existe una forma rápida ni fácil de lograr la restauración (Holl & Brancalion, 2020).

En el Ecuador se han implementado estrategias de restauración como: Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), Adaptación basada en ecosistemas (AbE) y la Restauración de Paisajes Forestales (FLR por sus siglas en inglés). En cuanto a los indicadores de la Restauración de paisajes, los monitoreos a largo plazo son indispensables para determinar la efectividad de los proyectos (González et al., 2024); sin embargo, en los Andes ecuatorianos de 13 proyectos ejecutados hasta el 2016, menos del 40% tienen reportados sus resultados (Aguilera, 2018).

La siembra directa es una técnica de restauración ecológica ampliamente utilizada en diversos entornos para rehabilitar ecosistemas degradados. Consiste en la inserción de semillas directamente en el suelo, omitiendo el paso de producir plántulas en viveros (Cole et al., 2011). Esta práctica se destaca por su potencial para ser más económica y requerir menos mano de obra en comparación con métodos que emplean plántulas (Schmidt, 2008; Cole et al., 2011). Sin embargo, el éxito de la siembra directa está condicionado por factores como el tamaño de las semillas, la presencia de herbívoros y el nivel de degradación del suelo (Cole et al., 2011). Además, es fundamental controlar aspectos como la exposición a la sombra para incrementar las probabilidades de éxito de esta técnica (Schmidt, 2008).

Sin embargo, la siembra directa presenta algunas desventajas, entre ellas, la baja tasa de emergencia y la alta mortalidad de las plántulas (Steven, 1991; Evans, 1982; Schmidt, 2008). Para aumentar las probabilidades de éxito, Steven (1991) sugiere una adecuada determinación de la especie objetivo, las condiciones del suelo, la preparación del sitio y las técnicas de emergencia de semillas adecuadas. Otro factor que aumenta las probabilidades de éxito es el uso de especies de sucesión temprana, pues suelen ser de crecimiento rápido y contribuyen a reducir la cobertura de malezas, así como crear un microhábitat y microclima favorable para las especies clímax. Por lo que restaurar pastos abandonados con especies de sucesión temprana sería lo ideal (Florentine & Westbrooke, 2004).

En este contexto, los bosques tropicales han ido desapareciendo a tasas alarmantes por razones económicas, de las cuales el pastoreo es el mayor causante del cambio de uso de tierra (Florentine & Westbrooke, 2004). El Ecuador perdió 995 278 ha de cobertura arbórea desde el año 2000 hasta el 2022; mientras que las zonas de arbustales andinos perdieron 17 537.33 ha (Barros-Díaz, 2024). Se sabe que hasta 2008 alrededor del 70% de los remanentes de bosque se perdieron en los Andes del Ecuador y se relaciona con el cambio de uso de suelo (Rivera, 2019; Sierra, 2013). De manera similar, los procesos de degradación del suelo en ecosistemas de montaña se aceleran con el aumento de las actividades humanas (Jie et al., 2002), lo que afecta la estructura y funcionalidad de los ecosistemas y disminuye la fertilidad del suelo (Florentine & Westbrooke 2004).

Los pastizales abandonados y degradados en zonas montañosas enfrentan barreras para la regeneración natural, como la infestación por malezas y la falta de suministro de semillas (Florentine & Westbrooke, 2004). Además, los cambios en las propiedades del suelo como la compactación, pérdida de nutrientes y la pérdida de capacidad de retención de agua, dificultan la emergencia y supervivencia de las plántulas (Rasiah et al., 2004; Rolando & Little, 2016). El flujo de semillas desde el bosque hacia otros sitios depende en su mayoría de animales (aves y mamíferos principalmente), los cuales no visitan los pastizales abiertos frecuentemente (Howe & Smallwood, 1982). La dispersión de semillas desde los ecosistemas naturales hacia los pastizales puede ser insuficiente para iniciar los procesos de regeneración natural. Estudios realizados en varios sitios tropicales muestran que el movimiento de semillas (fuera de los bosques) y su establecimiento es limitado, en especial

si se trata de semillas grandes (Cole et al. 2011). Por lo que no va a existir flujo suficiente de semillas hacia estos sitios y aunque en pocos casos exista la llegada de semillas, las posibilidades de supervivencia o emergencia son bajas.

Debido a estos cambios en el suelo, se pierde un factor clave para la emergencia, supervivencia y crecimiento que es la humedad del suelo y someter plantas recién emergentes a estrés hídrico provoca su muerte en cuestión de días (Rolando & Little, 2016). Según Palacios-Romero et al. (2016) el uso de un polímero de gel hidrofílico (hidrogel) puede actuar como mitigador de estrés hídrico y catalizador de la emergencia y crecimiento de plántulas en varias circunstancias, pero recomiendan realizar estudios en distintas condiciones biofísicas para determinar cuáles son los factores que determinan la eficacia del hidrogel. Otra enmienda ampliamente utilizada para el establecimiento de la vegetación es el uso de mulch; es decir cubrir al cultivo con materiales orgánicos o inorgánicos que favorecen la absorción y mantenimiento de agua debido a la capacidad de las fibras para retener la humedad (Fong-García & Fuentes-Montepeque, 2017). El mulch tiene un efecto positivo en el almacenamiento de agua del suelo, evita la erosión por el golpe de la lluvia y ha resultado exitoso para promover el establecimiento de árboles en proyectos de restauración (Li et al., 2020; Chalker-Scott, 2007). La incorporación de enmiendas al suelo puede mejorar su calidad del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes y agua para las semillas y plántulas (Nguyen & Shindo, 2011)

La homogeneización del paisaje puede desencadenar un aumento en la población de herbívoros y la proliferación de malezas, debido a que se elimina la presencia de sus enemigos naturales (Sánchez et al., 2022). Estudios realizados por Carvalho-Guimara et al. (2014) indican que la fragmentación del paisaje tiene un impacto significativo en el aumento de la herbivoría en las plantas que se encuentran fuera de los bosques, así como en la diversidad y abundancia de insectos herbívoros, especialmente de los órdenes Lepidóptera y Orthóptera. Asimismo, investigaciones llevadas a cabo por Pablo-Rodríguez et al. (2023) han identificado a los insectos herbívoros como los principales responsables del daño foliar y la propagación de patógenos en la vegetación tropical.

En muchos estudios sobre la herbivoría de insectos, se recurre al uso de insecticidas químicos para proteger a las plantas, como se evidencia en las investigaciones de Bailey et al. (2021), Dick et al. (2016) y Goodale et al. (2014). Sin embargo, existen alternativas más sostenibles y ecológicas para el control de plagas, tal como destacan Zurita Vásquez et al. (2017), quienes resaltan el potencial de plantas con propiedades insecticidas como la *Ruta graveolens*, *Urtica dioica*, *Ambrosia arborescens* y *Buddleja globosa*. Por lo que la protección contra herbívoros puede disminuir la presión de la herbivoría y aumentar las posibilidades de supervivencia de las plántulas (Reis et al., 2021).

En los Andes sur del Ecuador y norte del Perú existe una especie endémica que se caracteriza por ser de sucesión temprana con la capacidad de colonizar suelos empobrecidos, su nombre científico es *Oreocallis grandiflora*, estas características la hacen una especie de gran importancia para la restauración (Pintado & Crespo, 2016). Es una especie de gran importancia ecológica debido a que tiene un gran número de interacciones dentro del paisaje (Hazlehurst et al., 2016; Minga & Verdugo, 2016). En un estudio previo realizado en 2021 y concluido en 2022, donde se experimentó con siembra directa de *Oreocallis grandiflora* con tratamientos de sombra y protección contra herbivoría de mamíferos, se observó una baja supervivencia de plántulas y una alta tasa de herbivoría por parte de insectos (Datos no publicados).

En el sitio de estudio existe la influencia del embalse de Mazar, lo cual impacta en la inestabilidad de los suelos. Se sabe que en zonas con baja cobertura vegetal e influencia de embalses aumenta la inestabilidad de los terrenos (Strehmel et al., 2015). La empresa estatal responsable del proyecto hidroeléctrico es CELEC-SUR, la cual ha estado invirtiendo en reforestación y busca desarrollar estrategias más eficientes para recuperar zonas de baja cobertura vegetal, con el objetivo de recuperar la estabilidad de los sitios de influencia y a su vez mejorar la conectividad de los parches de vegetación nativa. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de la siembra directa de *Oreocallis grandiflora* en terrenos degradados debido al pastoreo, mediante el uso de dos enmiendas de suelo: hidrogel y mulch y dos tratamientos experimentales contra la herbivoría de insectos: Malla de tul (barrera física) y plantas de *Ruta graveolens* (barrera biológica), se analizará si los

tratamientos tienen un efecto sobre la emergencia, supervivencia, crecimiento y número de hojas en buen estado.

Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó en los Andes sur del Ecuador a orillas del Embalse de Mazar. El paisaje del área consta de una matriz de pastizales y cultivos con parches pequeños y aislados de vegetación nativa concentrados en quebradas y lugares de difícil acceso. Para nuestro estudio ubicamos seis parcelas experimentales en terrenos pertenecientes a la empresa pública CELEC EP; tres en la margen Este y tres en la margen Oeste del Embalse ($-2.692949^{\circ}\text{S}$, $-78.623736^{\circ}\text{W}$; $-2.716323^{\circ}\text{S}$, $-78.636982^{\circ}\text{W}$) (Figura. 1) en un rango altitudinal de 2.200 a 2.400 msnm. La distancia mínima entre parcelas fue de 0.340km y la máxima de 3.718km. Toda la zona presenta riesgos de deslizamiento de tierras debido a la presencia del embalse, por lo que hace varios años la empresa CELEC EP ha realizado esfuerzos para reforestar la zona más cercana al embalse, formando una franja de vegetación arbustiva y arbórea, para controlar procesos de erosión y deslizamiento de tierras. La temperatura promedio a lo largo del área fue de 15 a 16°C mientras que el promedio de precipitación anual varía de 1045 a 1208 mm/año.

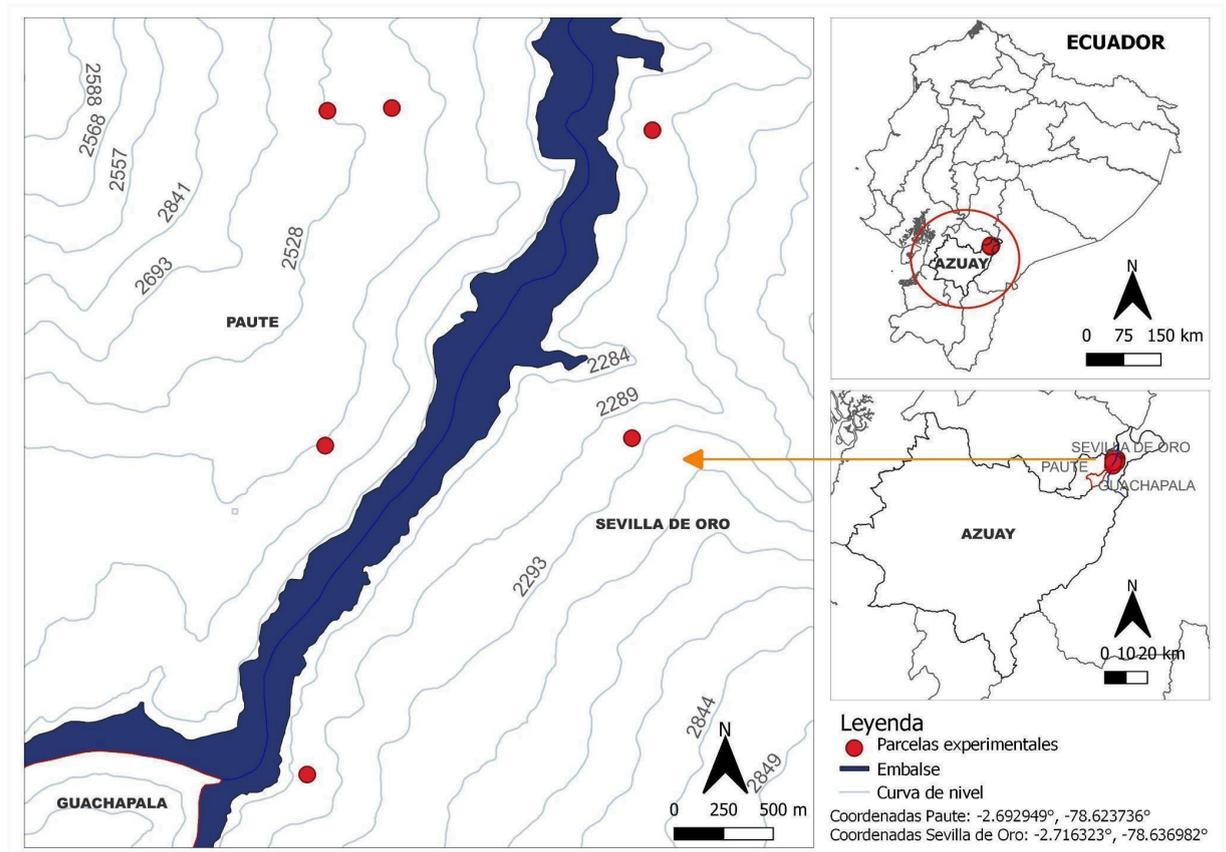


Figura 1. Mapa de los sitios de siembra. Las parcelas experimentales se encuentran en el margen Este y Oeste del embalse de Mazar, 3 en cada margen (-2.692949°S, -78.623736°W; -2.716323°S, -78.636982°W)

Especie de estudio

Oreocallis grandiflora es una especie de la familia Proteaceae y se encuentra distribuida en los Andes de Ecuador y Perú, su rango altitudinal varía de los 1500 a 4000 msnm (Torre, 2008; Minga & Verdugo, 2016). Es una especie de sucesión temprana con capacidad de colonizar suelos empobrecidos, lo que la hace una especie de importancia para la restauración (Crespo e Inga, 2020). Además, es de gran importancia ecológica debido a que interactúa con una gran variedad de grupos animales como insectos, aves y micromamíferos, los cuales frecuentan esta especie para obtener néctar, el cual produce constantemente tanto en el día como en la noche (Cárdenas et al., 2017). En un estudio realizado por Crespo et al., (2022) encontraron que *Oreocallis grandiflora* es una especie clave en redes de interacción en cuanto a polinización de colibríes, en la mayoría de tipos de vegetación. Es un árbol o arbusto de hasta 10 m de altura, muy abundante y extendido en los Andes; suele encontrarse en una gran variedad de vegetación incluyendo bosques

montanos y páramos, en suelos ácidos y poco profundos (Minga & Verdugo, 2016; Cardenas et al., 2017). Sus frutos son folículos oblongos leñosos de 5 a 6 cm de largo, cada fruto contiene entre 10 y 12 semillas, el tamaño de las semillas varía de 0,7 a 0.5 y el peso de 0,19 a 0,08 gr. (Vintimilla & Crespo, 2019).

Colecta de semillas

La recolección de semillas se realizó en ambos márgenes del embalse. Para obtener semillas de buena calidad se buscaron árboles con las mejores características fenotípicas como lo recomienda Valladolid Ontaneda et al. (2017). Se utilizaron 12 árboles madre encontrados en distintos parches de vegetación nativa. La distancia mínima de colecta entre individuos fue de diez metros, se localizaron únicamente individuos de 2 a 3 metros de altura con frutos maduros los cuales tienen una coloración que varía del amarillo al café cuando están a punto de abrirse para liberar las semillas, por lo que únicamente se colectaron frutos con estas características.

Obtuvimos los frutos con ayuda de una podadora aérea y los transportamos al Laboratorio de Plantas Nativas de la Universidad del Azuay. Una vez ahí, colgamos los frutos alrededor de 3 a 7 días para dejar que se abran por sí solos y liberen las semillas maduras. Eliminamos las semillas vacías y posteriormente guardamos las semillas viables en frascos secos y desinfectados, y almacenamos las semillas durante tres semanas antes de la siembra.

Diseño experimental

Para conocer el efecto de los tratamientos experimentales sobre la emergencia, supervivencia, crecimiento y número de hojas de plántulas de *Oreocallis grandiflora*, utilizamos un diseño en Split Plot (Fig. 2). Cada parcela tuvo 9 unidades experimentales de siembra. La primera parte del diseño comprende 6 unidades experimentales de siembra en bloque (Figura. 2a) y la segunda parte un diseño de dos triángulos con tres unidades experimentales (Figura. 2b). Cada unidad experimental se encuentra a un metro de distancia de la siguiente unidad y entre los dos tipos de diseño hay una distancia de dos metros. Todas las unidades experimentales estuvieron cubiertas por sarán en la parte superior para generar sombra. Los factores de diseño fueron las enmiendas de suelo

(hidrogel, mulch, sin enmienda), la exclusión de herbivoría (malla de tul, plántulas de ruda, sin protección) y control (sin enmiendas de suelo y sin protección contra la herbivoría) para un total de nueve tratamientos de siembra directa:

- T1: Malla + Hidrogel
- T2: Ruda + Hidrogel
- T3: Sin protección de herbivoría + Hidrogel
- T4: Malla + Mulch
- T5: Ruda + Mulch
- T6: Sin protección de herbivoría + Mulch
- T7: Malla + Sin tratamiento de suelo
- T8: Ruda + Sin tratamiento de suelo
- T9: Sin protección de herbivoría + Sin tratamiento de suelo

Previo a las siembras se eliminó la capa vegetal superior en cada una de las unidades experimentales, en un diámetro aproximado de 50 cm. Se realizaron huecos de 30 cm tanto de diámetro como de profundidad y se removió el suelo para disminuir la compactación del suelo. Finalmente se colocaron los respectivos tratamientos según el código y se sembraron 5 semillas de *Oreocallis grandiflora* en cada unidad experimental. En todos los sitios se hizo una aleatorización de la disposición de los distintos tratamientos. Se implementaron dos parcelas experimentales en cada sitio para tener un duplicado. El tratamiento de malla se colocó utilizando palillos de 0,5 cm de ancho y 50 cm de largo, los cuales se enterraron 10 cm en el suelo en forma triangular, la malla tul de 50 x 50 cm, que fue cocida previamente, se colocó por detrás de los palillos y con ayuda de una engrapadora se unió la parte superior de la malla para evitar el paso de los insectos voladores. En cuanto al uso de *Ruta graveolens* únicamente se sembraron 3 plantas junto a las unidades de siembra correspondientes a este tratamiento. Por otro lado, para el uso del mulch se utilizó el material obtenido de las podas de césped (familia Poaceae) de los sitios, evitando las raíces y bulbos. Y finalmente el hidrogel se utilizaron 2 gr, los cuales se colocaron en el suelo formando una capa, encima se colocaron las semillas y se cubría con tierra del sitio.

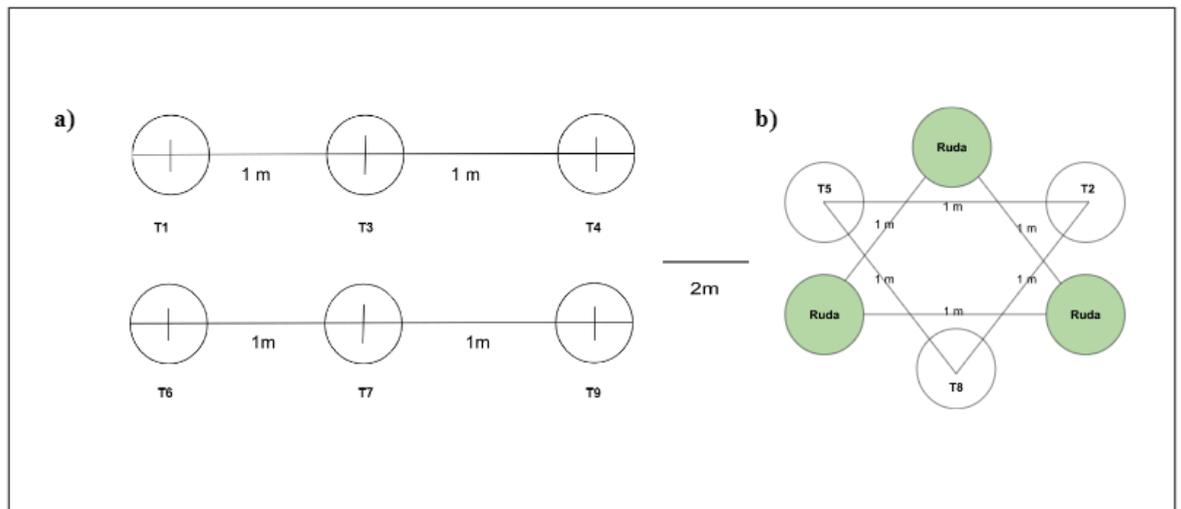


Figura 2. Diseño de siembra en Split Plot: Cada parcela cuenta con un diseño a) en forma de bloque con cada unidad experimental a un metro de distancia, con los tratamientos de suelo y protección física contra la herbivoría de insectos, es decir los tratamientos: 1,3,4,6,7 y 9 b) en forma de dos triángulos con cada unidad experimental a un metro de distancia en disposición triangular y el tratamiento biológico contra la herbivoría de insectos a un metro de distancia en disposición de triángulo invertido, con los tratamientos: 2,5 y 8. Entre los dos tipos de diseño hay una distancia de 2 metros.

Colección de datos

Registramos la emergencia de plántulas semanalmente hasta la semana 11, donde comprobamos que no existieron más eventos de emergencia. A partir de la semana 11 registramos la supervivencia de plántulas mensualmente durante cuatro meses. Los datos de altura del tallo, en cm, se tomaron al inicio de la semana 11 y al finalizar el último monitoreo de supervivencia, a los 6 meses luego de la siembra. Los datos del número de hojas, considerando únicamente hojas maduras y sin daños por herbivoría, se tomaron las mismas fechas que los datos de altura del tallo. Finalmente se realizaron análisis físicos y químicos del suelo en los sitios experimentales; incluyendo compactación, pH, conductividad eléctrica, Na, Mg, Ca, N, P, K, C, materia orgánica y textura. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad del Azuay (Anexo 1,2,3).

Análisis estadísticos

Los datos de emergencia y supervivencia fueron analizados mediante un test de supervivencia utilizando el método de Kaplan-Meier utilizando el software SigmaPlot (v. 11.0, Systat Software). Este análisis estima la probabilidad de que un evento ocurra o no durante un periodo de tiempo específico en relación a las variables consideradas (McNair et al., 2012). En este caso se estima la probabilidad de que las semillas no emerjan hasta

la semana 11 y en el caso de la supervivencia la probabilidad de que las plántulas que emergieron mueran hasta el mes cuatro. El resultado es un análisis de supervivencia con valores de probabilidad para cada esfuerzo de observación y un gráfico que muestra la curva de supervivencia para cada tratamiento y sitio de siembra. Para determinar si las variaciones existentes entre tratamientos o sitios de siembra fueron significativamente distintos entre ellos ($p < 0,05$) se utilizó una prueba *long-rank* (X^2). En el caso de presentar diferencias significativas se realizó un análisis de comparación múltiple mediante el método de Bonferroni (Day & Quinn 1989), que nos indica las curvas que son similares y las que son diferentes.

Utilizando los datos de altura del tallo de cada plántula realizamos un índice de crecimiento con la fórmula: (altura final-altura inicial)/altura inicial. Para el número de hojas obtuvimos el valor de la diferencia del número de hojas final menos el número de hojas inicial. Utilizando la librería *lmerTest*, se realizaron modelos lineales para relacionar el crecimiento de las plántulas con las variables de número de hojas, sitio y la interacción de los tratamientos de suelo y herbivoría. Se analizó la normalidad del modelo mediante la prueba Shapiro-Wilk y la elaboración de histogramas. Los datos usados en el modelo no fueron normales por lo que realizamos una transformación de los datos. En el caso del crecimiento la fórmula para la transformación de los datos fue $[1/(\text{índice de crecimiento} + 2.74226804)]$ y para el número de hojas la fórmula fue $[1/(\text{número de hojas} + 8)]$. Los valores de 2.74226804 y 8 que se suman a las variables corresponden a los valores más bajos que existieron tanto del índice de crecimiento como del número de hojas. Posterior a esto, se realizó un resumen del modelo generado, lo que nos dio una visión general de los resultados del modelo incluyendo pruebas estadísticas (*t-values*) y valores p que indican la significancia estadística de cada coeficiente del modelo. Debido a la transformación de los datos, los valores que dan como resultado del summary del modelo se van a mostrar con el signo contrario al que tiene con los valores normales. Mediante la función *Box-Cox*, que es una transformación potencial que corrige la asimetría de las variables, nos aseguramos de que al momento de transformar nuestros datos las variables no cambian su comportamiento. En el análisis de regresión lineal realizado, el modelo examinó cómo la variable de crecimiento (índice de crecimiento) está influenciada por las variables

predictoras número de hojas, sitio y la interacción entre tratamientos de suelo y herbivoría. Para este análisis los sitios Oeste dos y tres no fueron considerados debido a que estos sitios únicamente tienen una plántula sobreviviente por lo que la generalidad del modelo se puede ver afectada. Para explicar gráficamente los resultados de la regresión primero realizamos un gráfico de interacción de los tratamientos de suelo y herbivoría (Figura 8) y un Boxplot de la relación entre el índice de crecimiento y el número de hojas tomando en cuenta los sitios experimentales (Figura 9). Finalmente, graficamos la regresión lineal entre el índice de crecimiento y el número de hojas (Figura 10).

Para conocer la relación de la mortalidad con respecto a las variables de presencia o ausencia de herbivoría y sitio realizamos una regresión lineal de la proporción de la mortalidad en relación con las variables de presencia o ausencia de herbivoría y sitio. Y la función *summary* para resumir el modelo. Para esto se agruparon todos los datos por unidad experimental, que estaba identificada por un código único. Las variables plántulas vivas, plántulas muertas, plántulas con herbivoría y plántulas sin herbivoría se transformaron a proporciones mediante la división de la variable sobre el total de las plántulas, por ejemplo: Plántulas Vivas/Total de Plántulas. Adicionalmente se creó una nueva variable que indica plántulas que nunca han tenido herbivoría y se colocó el valor de 1, mientras que plantas que alguna vez tuvieron herbivoría el valor de 0. Se graficó la relación del número de plántulas y su estado a lo largo del tiempo por cada sitio experimental. Finalmente, realizamos un gráfico de presencia y ausencia de herbivoría y su relación con la mortalidad para cada sitio de estudio.

Para los análisis de regresión lineal, tanto de datos de crecimiento como de herbivoría, dos sitios del margen Oeste se eliminaron debido a que presentan pocos datos por la baja supervivencia de las plántulas, lo cual podría afectar a la generalidad del modelo. Los análisis de regresión lineal y sus correspondientes gráficos relacionados se hicieron mediante el uso de la librería *lmerTest* y *ggplot* del programa estadístico *R Studio*.

Resultados

Emergencia y supervivencia

La prueba Log-Rank, asociada al análisis de supervivencia, indicó que no hubo una

diferencia significativa en la emergencia de plántulas entre los tratamientos ($p=0,546$) (Figura 3A) (Anexo 4A). Sin embargo, los valores de emergencia más altos se dieron en los tratamientos de Ruda + Mulch y Sin protección de herbivoría + Mulch (T5 y T6) con un 83% de germinantes; mientras que el más bajo fue el tratamiento de Malla + Mulch (T4) con un 50% de emergencia de plántulas (Tabla 1). De igual manera, los tratamientos no tienen influencia significativa en la supervivencia de las plántulas ($p = 0,123$) (Figura 3B) (Anexo 4B). Sin embargo, los valores más altos de mortalidad se dieron en los tratamientos de Ruda + Hidrogel y Sin protección de herbivoría + Hidrogel (T2 y T3) con 78 y 75% de mortalidad respectivamente; mientras que el tratamiento con menor mortalidad fue el tratamiento de Malla + Hidrogel (T1) con 11% de mortalidad (Tabla 1).

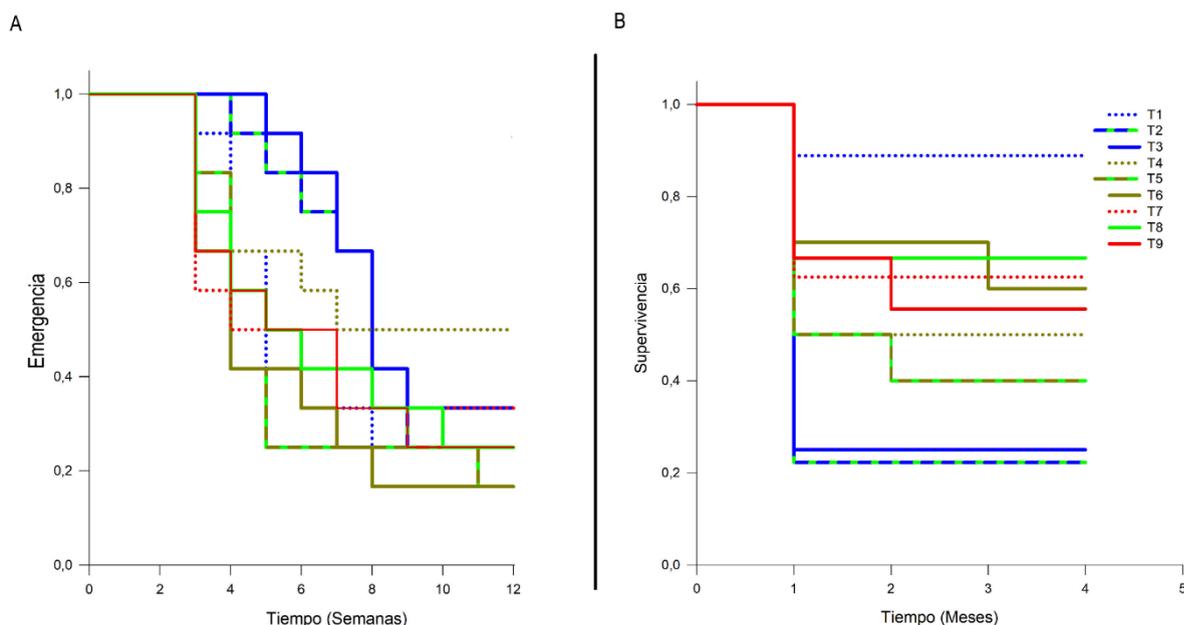


Figura 3. A) Análisis de la emergencia, cada curva corresponde a un tratamiento de siembra al que se sometieron las semillas, las curvas que se encuentran más cercanas al cero (0,0) en el eje y representan mayor probabilidad de emergencia. **B)** Análisis de supervivencia, cada curva corresponde a un tratamiento de siembra con el que las plántulas emergieron, las curvas que se encuentran más cercanas al cero (0,0) en el eje y representan mayor probabilidad de mortalidad de las plántulas. Los tratamientos corresponden a: **T1:** Malla + Hidrogel; **T2:** Ruda + Hidrogel; **T3:** Sin protección de herbivoría + Hidrogel; **T4:** Malla + Mulch; **T5:** Ruda + Mulch; **T6:** Sin protección de herbivoría + Mulch; **T7:** Malla + Sin tratamiento de suelo; **T8:** Ruda + Sin tratamiento de suelo; **T9:** Sin protección de herbivoría + Sin tratamiento de suelo.

Tabla 1. Porcentajes finales de emergencia y mortalidad de las plántulas de *Oreocallis grandiflora*, según los nueve tratamientos de siembra.

Tratamiento	Emergencia Final (%)	Mortalidad Final (%)
1	75	11
2	75	78
3	67	75
4	50	50
5	83	60
6	83	40
7	67	37
8	75	33
9	75	44

El análisis de Log-Rank, en relación a los sitios del margen Este y Oeste del embalse mostró diferencia significativa en la emergencia ($p < 0,001$) (Figura 4A) (Anexo 5). El sitio que presentó mayor emergencia fue el margen Este con un 94,44%, mientras que el de menor emergencia fue el sitio Oeste con un 50,11% de emergencia de plántulas (Tabla 2). Por otra parte, los sitios del margen Este y Oeste del embalse también presentan una diferencia significativa en la supervivencia de las plántulas ($p = 0,007$) (Figura 4B) (Anexo 6), los sitios del margen Oeste presentan una mortalidad del 70,33% de las plántulas mientras que el sitio Este tiene una mortalidad de 35,88% (Tabla 2).

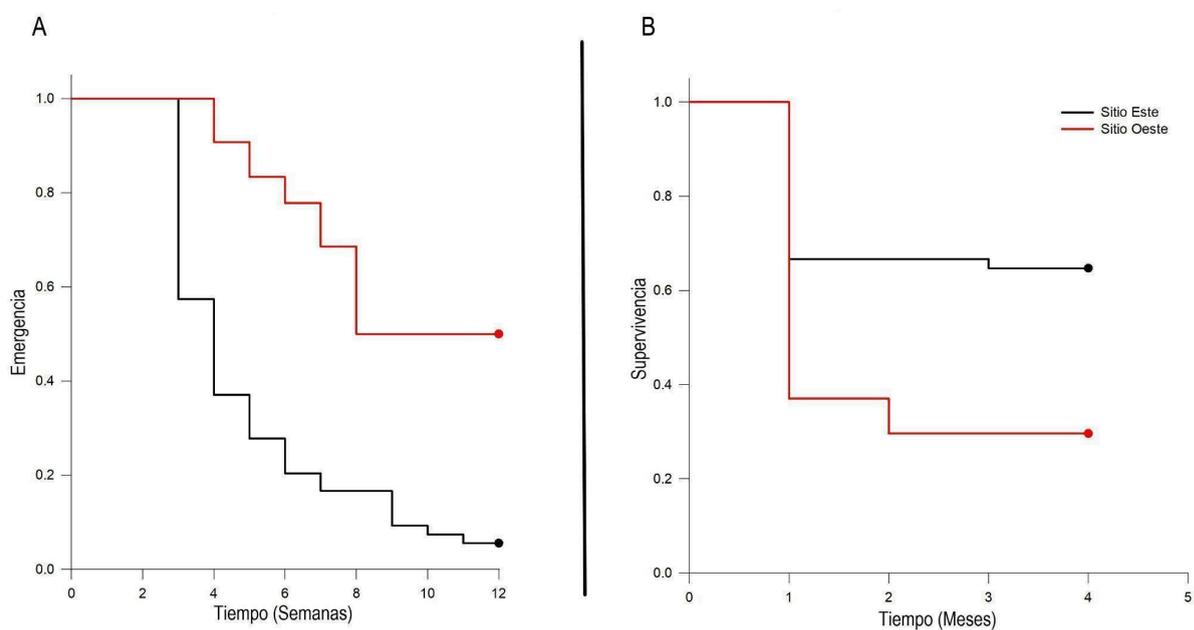


Figura 4. A) Análisis de emergencia separando los sitios de siembra según su ubicación respecto al embalse. Las curvas que se encuentran más cercanas al cero (0,0) en el eje y representan mayor probabilidad de emergencia. **B)** Análisis de supervivencia separando los sitios de siembra según su ubicación respecto al embalse. Las curvas que se encuentran más cercanas al cero (0,0) en el eje y representan mayor probabilidad de mortalidad de las plántulas. Sitios al Este del embalse: Línea negra. Sitios al Oeste del embalse: Línea Roja.

Tabla 2. Porcentajes finales de emergencia y mortalidad de las plántulas de *Oreocallis grandiflora*, según los nueve tratamientos de siembra y según el sitio de siembra.

Tratamiento	Emergencia Final Sitio Este (%)	Emergencia Final Sitio Oeste (%)	Mortalidad Final Sitio Este (%)	Mortalidad Final Sitio Oeste (%)
1	100	50	0	33
2	100	50	67	100
3	67	67	50	100
4	83	17	40	100
5	100	67	50	75
6	100	67	17	75
7	100	33	33	50
8	100	50	33	33
9	100	50	33	67

En todos los sitios experimentales existió mayor mortalidad que supervivencia, a excepción del Sitio Este dos y los sitios Oeste dos y tres fueron los menos exitosos del experimento (Figura 5).

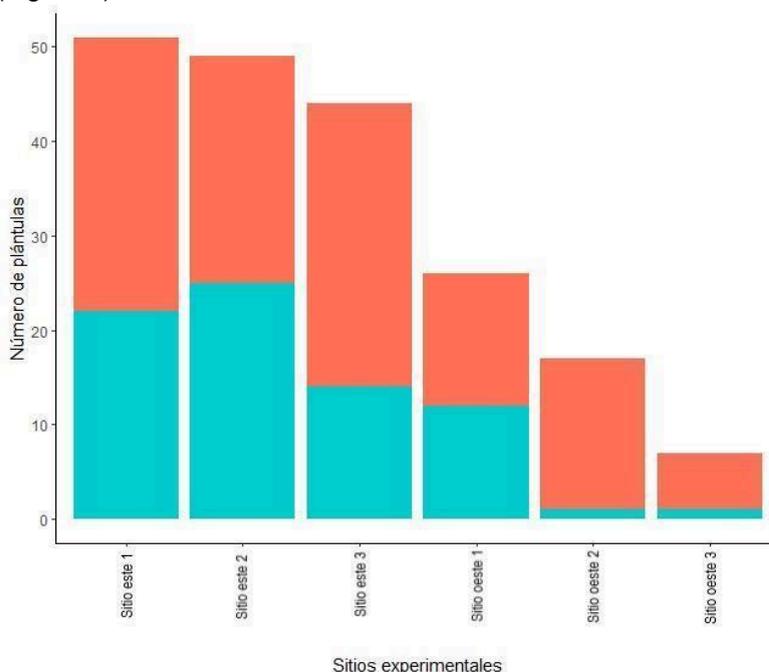


Figura 5. Número de plántulas por cada sitio experimental, el color coral de la barra muestra el número de plántulas que murieron y el color cian muestra el número de plántulas vivas.

Crecimiento y número de hojas

En el análisis de regresión lineal realizado, la variable de crecimiento (índice de crecimiento) está influenciada por las variables predictoras número de hojas, sitio y la interacción entre tratamientos de suelo y herbivoría. Este modelo explica aproximadamente el 51.43% (R cuadrado ajustado) de la variabilidad en el crecimiento. La variable predictora de número de hojas fue muy significativa ($p=2.07e-08$) y tuvo un valor estimado de 0.1522896 (Figura 6) lo que quiere decir que, por cada aumento de una unidad, el crecimiento incrementa en promedio 0.1522896 unidades (Anexo 7).

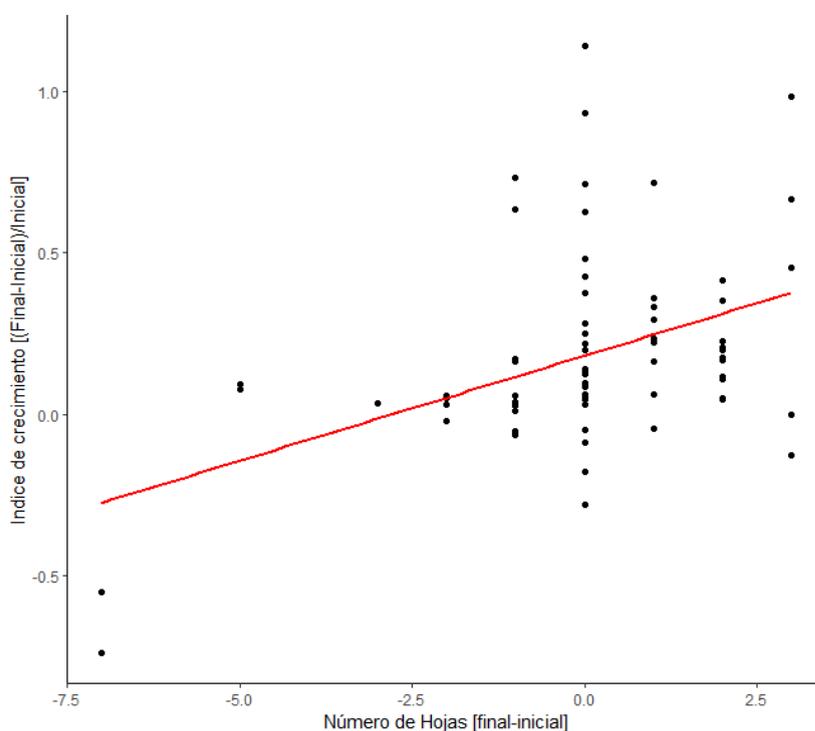


Figura 6. Regresión lineal en relación con el índice de crecimiento y el número de hojas. La línea roja es la línea de la regresión y los puntos son cada uno de los datos.

En relación con la interacción de los tratamientos de herbivoría y suelo con respecto al crecimiento; se tienen valores significativamente distintos del resto de tratamientos cuando se combinan los tratamientos de hidrogel con malla tul y los tratamientos control, es decir la ausencia de tratamiento de suelo y herbivoría. Este primer tratamiento tiene un promedio apenas superior a los 0,0 cm y en el segundo caso presenta valores de crecimiento promedio negativos, lo que indica que las plántulas tuvieron un tamaño final menor a su tamaño inicial. Mientras que la combinación del resto de tratamientos presenta valores de crecimiento mayores. Aunque no existe una diferencia significativa entre el resto de

tratamientos, el que presenta valores de crecimiento mayor es el uso de hidrogel sin tratamiento de herbivoría, seguido de el tratamiento de ruda sin tratamiento de suelo y el tratamiento de malla tul sin tratamiento de suelo. El uso del tratamiento con mulch presenta valores de crecimiento más o menos constante en combinación con cualquiera de los tratamientos de herbivoría (Figura 7) (Anexo 7).

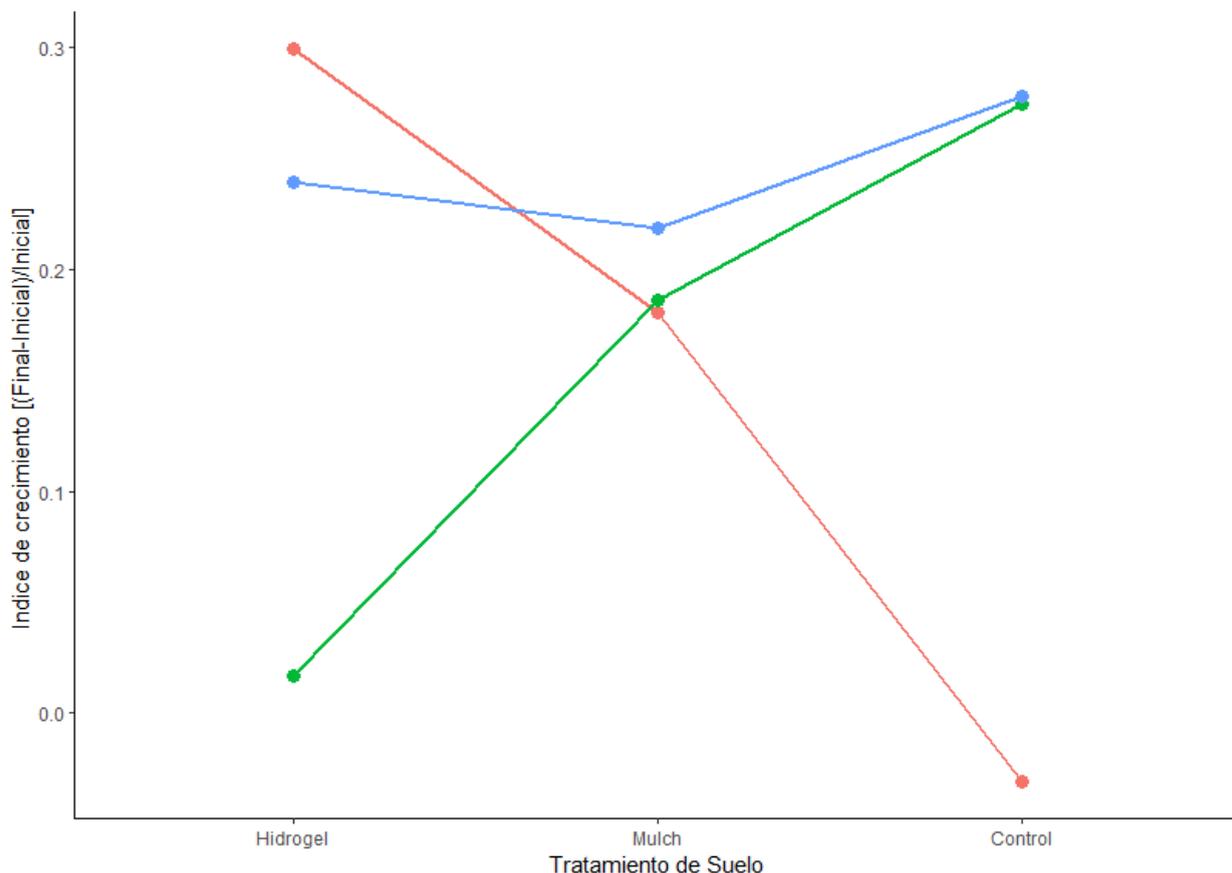


Figura 7. Interacción de los tratamientos de herbivoría y suelo en relación con el índice de crecimiento. Los puntos representan los tratamientos de suelo que se encuentran en el eje x, las líneas representan los tratamientos de herbivoría. La línea de color verde representa al tratamiento con tela de tul, la línea azul el tratamiento que utiliza Ruda (*Ruta graveolens*) y la línea roja representa el control que no tiene tratamiento de herbivoría. El valor 0.0 del índice de crecimiento indica que no existió crecimiento, valores menores a 0.0 representan crecimiento negativo y valores mayores a 0.0 indican crecimiento positivo.

Relación entre la herbivoría y la mortalidad

La relación de la mortalidad de las plántulas con la presencia de herbivoría en plántulas no mostró significancia en el modelo; pero la ausencia de herbivoría en plántulas sí fue significativa, con una relación positiva respecto a la mortalidad de las plántulas con un valor estimado de 0.28108 y un valor p de 0.000403. Por otra parte, el sitio que tiene una relación significativamente negativa con la mortalidad fue "Sitio Este dos" con un valor estimado de -0,28000 y un valor p de 0.009592 (Anexo 8). En los demás sitios no hubo

relación significativa con la mortalidad. En conjunto, el modelo explica aproximadamente el 21.09% (R cuadrado ajustado) de los datos de mortalidad. Los sitios uno y dos del margen Oeste fueron eliminados debido a que presentan muy pocos datos y esto puede afectar la generalidad del modelo. Aunque la relación de la proporción de mortalidad con la presencia de de herbivoría en las plántulas no haya sido significativa, podemos ver que en general las plántulas con herbivoría tienen mortalidad de al menos 50% (Figura 8)

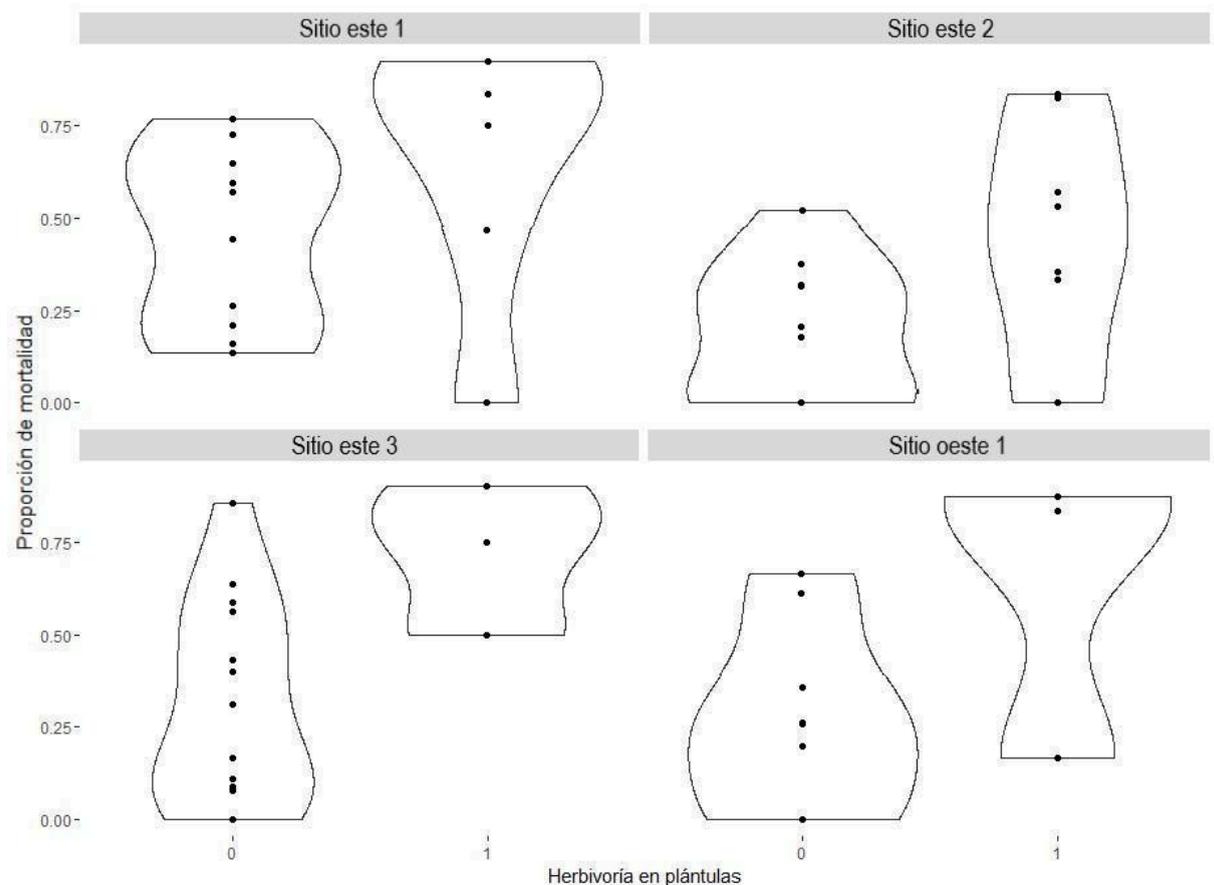


Figura 8. Relación de la proporción de la mortalidad con la presencia y ausencia de herbivoría en las plántulas. En el eje x, plántulas que nunca han tenido herbivoría tienen un valor de 1; plántulas que han tenido alguna vez herbivoría tienen un valor de 0. En el eje y el valor de 1 representa una mortalidad del 100%.

Discusión

Emergencia y Supervivencia

Los tratamientos de siembra no influyeron de forma significativa en la emergencia de las semillas o la mortalidad de las plántulas. Sin embargo, el tratamiento cuatro (Malla + Mulch) dio el porcentaje de emergencia más bajo 50%, considerando la información de todos los sitios de siembra. Mientras que cuando se separan los sitios por ubicación en el margen del embalse, el tratamiento con menor efectividad en la emergencia de plántulas del margen

Este es el tratamiento tres (Sin protección de herbivoría + Hidrogel) con 67% de emergencia; y para el margen Oeste es el tratamiento cuatro (Malla + Mulch) con 17% de emergencia y el tratamiento siete (Malla + Sin tratamiento de suelo) con 33% de emergencia.

En cuanto a la supervivencia, el tratamiento uno (Malla + Hidrogel) fue el mejor pues solo tiene 11% de mortalidad y el peor fue el tratamiento 2 (Ruda + Hidrogel) con 78% de mortalidad de plántulas, esto considerando la información de todos los sitios de estudio. Cuando separamos los márgenes Este y Oeste nuevamente el tratamiento uno (Malla + Hidrogel) es el mejor, pues presenta 0% y 33% de mortalidad de las plántulas en el margen Este y Oeste respectivamente; el tratamiento ocho (Ruda + Sin tratamiento de suelo) también presenta únicamente 33% de la mortalidad para el margen Oeste. Para el margen Este el tratamiento 2 (Ruda + Hidrogel) fue el que mayor mortalidad presentó (67%) y en el margen Oeste los tratamientos dos, tres y cuatro fueron los peores con una mortalidad del 100%. Los tratamientos de siembra no generaron los resultados esperados tanto en la emergencia como en la supervivencia.

En un estudio realizado en las tierras bajas de Perú encontraron que en sitios abandonados la depredación de semillas por parte de vertebrados es más alta en comparación con invertebrados, pero la depredación de semillas y plántulas en zonas de bosque ocurre en su mayoría por parte de invertebrados (Notman & Gorchov, 2001); sin embargo en nuestro sitio de estudio, debido a la escasa presencia de zonas boscosas existe poca presencia de vertebrados, mientras que la cantidad de insectos es alta debido a la cantidad de pastizales en la zona; por lo que nuestros tratamientos tuvieron como objetivo herbívoros invertebrados. En otro estudio encontraron que la depredación de semillas por parte de invertebrados es mayor cuando se trata de semillas de tamaño pequeño (Doust, 2011) por lo que la protección ante éstos herbívoros es indispensable para aumentar las probabilidades de emergencia de las semillas; la especie utilizada en este estudio *Oreocallis grandiflora* tiene semillas de aproximadamente 0.5 - 0.6 centímetros (Neira & Crespo, 2016), sin embargo los tratamientos de protección contra herbivoría de invertebrados utilizados (Físico: malla de tul y Biológico: "Ruda" *Ruta graveolens*) no tuvieron un efecto significativo

en la emergencia. Crespo & Pintado (2016), en un estudio sobre la siembra directa de árboles nativos en un valle interandino del sur de Ecuador encontraron que la protección contra herbívoros (mamíferos) era importante para el éxito en la siembra directa, aunque el estudio no consideró la depredación por insectos o artrópodos, esto nos puede sugerir que se pueden mejorar los tratamientos de protección contra herbívoros invertebrados para obtener mejores resultados. Pues en estudios como el de Bailey et al. (2021) o Dick et al., (2016), donde estudian métodos efectivos de exclusión de herbivoría de insectos (uso de insecticidas), encontraron que estos tratamientos impactaron de forma positiva a la emergencia y persistencia de las plántulas nativas, superando 10 veces a los tratamientos de suelo. De manera similar Goodale et al., (2014), encontraron que la supervivencia de plántulas en el sotobosque disminuyó de manera significativa debido a la herbivoría; consideran también, que factores de herbivoría deben ser tratados cuidadosamente en los proyectos de restauración con especies pioneras. De cualquier manera, los tratamientos utilizados en nuestro estudio no fueron completamente efectivos para evitar la entrada de este grupo de herbívoros debido a la flexibilidad de la tela y por el viento se generaron espacios en la base que permiten la entrada de insectos, por lo que es necesaria la investigación de métodos más efectivos y aplicables a gran escala.

En cuanto a los tratamientos de hidrogel y mulch, su efecto no fue evidente. En un estudio de siembra directa en el sur de Brasil, de Souza et al., (2021) encontraron que el uso de hidrogel mejoró la emergencia de las plántulas, lo cual difiere con nuestros resultados de emergencia, pues no se vieron cambios significativos de emergencia. Mientras que, en un experimento de laboratorio realizado por Gokavi et al. (2018), con semillas de café, concluyeron que la emergencia bajo el tratamiento de hidrogel tuvo un impacto negativo y que el tratamiento control fue el mejor. Por otra parte, la efectividad del uso de mantillos (mulch) como técnica de mejoramiento de suelos varía de acuerdo a las características del sitio de estudio. En una región con clima semiárido el uso de mantillos no mejoró significativamente las características de suelo o los resultados de la restauración (Coello et al., 2018), mientras que experimentos de mejoramiento de suelo en dos sitios con clima mediterráneo y subtropical dieron como resultado que los mantillos si mejoran las

propiedades del suelo y la tasa de infiltración lo que hace posible el aumento en el éxito de la restauración (Sintim et al., 2021). El uso de estos tratamientos, a diferencia de otros estudios, no tuvieron impactos positivos significativos en la mejora de la emergencia o supervivencia de plántulas, pero tampoco se encontraron impactos negativos.

Crecimiento

El crecimiento está influenciado significativamente por el número de hojas de las plántulas, el sitio experimental y la interacción de los tratamientos de enmiendas de suelo y protección contra la herbivoría. En cuanto a los tratamientos, en general se observa que existe un índice de crecimiento positivo con la mayoría de los tratamientos a excepción del uso de hidrogel junto con el tratamiento contra herbivoría que utiliza tul. El tratamiento de suelo más efectivo fue el uso del mulch, pues en combinación con cualquier otro tratamiento contra herbivoría o sin estos, el índice de crecimiento fue siempre un valor positivo. Además, se demostró que no utilizar ningún tratamiento tiene como consecuencia un índice de crecimiento negativo.

En un estudio de siembra directa en el sur de Brasil (de Souza et al., 2021) el uso de hidrogel mejoró el desarrollo temprano de las plántulas, lo cual coincide con nuestros resultados, pues los tratamientos que utilizaron hidrogel fueron los que presentaron valores de crecimiento mayores en comparación a los otros tratamientos, a excepción de la combinación de hidrogel con malla tul; aunque no son resultados significativos. En otro estudio de Coello et al., (2018) encontraron que el uso de un acondicionador de suelo mejoró el rendimiento de plántulas a pesar de la baja precipitación y las desfavorables condiciones del suelo, lo que coincide con nuestro estudio que las enmiendas si mejoraron el crecimiento y número de hojas de las plántulas. En general, la efectividad del uso de mantillos (mulch) como técnica de mejoramiento de suelos varía de acuerdo a las características del sitio de estudio; en una región con clima semiárido el uso de mantillos no mejoró significativamente las características de suelo o el crecimiento de las plántulas (Coello et al., 2018). Mientras que en sitios con clima mediterráneo y subtropical dieron como resultado que los mantillos si mejoraron las propiedades del suelo y la tasa de infiltración y con esto la efectividad de la restauración (Sintim et al., 2021).

El tratamiento de malla de tul + hidrogel tuvo una influencia negativa significativa pues las plántulas muestran una disminución en el tamaño. Este resultado se debe posiblemente a que en un sitio el tamaño final de una plántula disminuyó drásticamente en comparación al tamaño inicial, no se logró determinar si esto fue debido a herbivoría u otro factor propio del tratamiento. Por esto, consideramos que la implementación de la malla no fue completamente efectiva, pues no impedía por completo la entrada de insectos, se debe buscar una mejor forma de protección contra insectos herbívoros. Según el estudio de Lemoine et al., (2017) la herbivoría de insectos si afecta al crecimiento de las plántulas, pero principalmente a especies pioneras y en menor medida en especies tolerantes a la sombra. Por otro lado, a pesar de que, en los estudios realizados por Barbosa et al., (2011) encontraron que extractos de *Ruta graveolens* (Ruda) son efectivos para combatir un amplio número de plagas en cultivos de tomate; así como también Perera & Karunaratne (2015), encontraron que tanto las hojas (en polvo) como los extractos de las hojas tienen potencial insecticida en la protección de las cosechas de arroz. En nuestro estudio sembramos la planta de Ruda junto con las siembras de *Oreocallis grandiflora* pero no encontramos una influencia significativa en el crecimiento de las plántulas; sin embargo, es el tratamiento en donde se observa un crecimiento alto y constante, sin importar el tratamiento de suelo con el que se combine.

Relación entre herbivoría y mortalidad

En este estudio, la mortalidad de las plántulas y las plántulas que nunca presentaron herbivoría tienen una relación significativamente positiva, es decir que estas presentan altas proporciones de mortalidad. Esto quiere decir que existen otras variables además de la herbivoría que están causando mortalidad en las plántulas y no obtuvimos resultados suficientes para relacionar el factor herbivoría con la mortalidad. Según estos resultados, en nuestra área de estudio, los factores como suelo o clima pueden ser los que más influyen en la mortalidad que la herbivoría de plántulas por parte de invertebrados. Sin embargo, también existe la posibilidad de que, debido al periodo de monitoreo, que fue cada 15 días, no haya sido posible observar el proceso de herbivoría, pues en muchos de los casos al momento de llegar a monitorear ya no se encontraban rastros de las plántulas, por lo cual no se podía categorizar la muerte por razones de herbivoría, esto por lo general ocurría con plántulas recién emergentes.

Aunque se sabe que la estructura de las poblaciones de plantas se puede ver afectada por los herbívoros debido a que estos influyen en la mortalidad (Prittinen et al., 2003) y que la herbivoría es un factor clave para el establecimiento de las plantas (Bailey et al. 2021); existen pocas investigaciones sobre exclusión de herbivoría por insectos. En estudios como Bailey et al. (2021) y Goodale et al (2014), encontraron que la exclusión de herbivoría de insectos mejoró de forma significativa la persistencia de las plántulas y que la supervivencia de plántulas disminuye de manera significativa debido a la herbivoría. A pesar de que nuestros resultados no muestran a la herbivoría como el mayor factor causante de mortalidad, si es un factor limitante, por lo que se debería continuar investigando y mejorando las técnicas de exclusión de herbivoría de insectos.

Influencia del sitio

El sitio de siembra fue el factor que más influyó en el establecimiento de las plántulas. Los sitios del margen Este tuvieron los mejores resultados con respecto a la emergencia, supervivencia y crecimiento en comparación al sitio Oeste. Entre las variables físicas y químicas del suelo, el fósforo difirió drásticamente entre un sitio y otro. En el margen Este el valor de fósforo fue de 10,22 ppm mientras que en el Oeste fue de 4,37 ppm, lo que nos sugiere que los valores bajos de fósforo pudieron influir en la emergencia y supervivencia de las plántulas.

Se sabe que el fósforo puede ser un factor limitante en el éxito de los cultivos (Shen et al., 2011) y afecta al crecimiento de las plantas, reduciendo a su vez el desarrollo y crecimiento de las raíces; también, dentro de las células el fósforo es indispensable para los procesos fisiológicos y bioquímicos (Shen et al., 2011). En un estudio sobre germinación de semillas, Zhang et al., (1990), encontraron que las semillas que se sometieron a menor concentración de fósforo germinaron menos, el tamaño de los brotes y de las raíces fueron menores en comparación con las semillas sometidas a mayores concentraciones de fósforo, lo cual coincide con nuestros resultados de emergencia y supervivencia.

Por otro lado, se sabe que la actividad pastoril prolongada agota los nutrientes, suele generar sequía estacional, compactación, disminución de la cantidad de carbono, nitrógeno y materia orgánica lo que afecta a la emergencia de las semillas y al establecimiento de las plántulas (Lal, 2015). En un estudio sobre descompactación de suelos en siembra directa, Álvarez et al., (2006), encontró que la descompactación puede mejorar la infiltración de

agua y el rendimiento del cultivo por la mejora en emergencia de semillas y su establecimiento. Da Silva & Kay (1997) encontraron que la compactación depende también del contenido de arcilla y de la densidad aparente pero que también se relaciona con otras propiedades del suelo. El aumento de la compactación influye negativamente en el crecimiento y desarrollo de las raíces y por lo tanto de las partes fotosintéticas (Gerard, 1965; Young et al., 1997). Por otra parte, Ping & Wang, (2018), encontraron que el contenido de nitrógeno del suelo disminuyó continuamente bajo actividades de pastoreo continuo; además, terrenos con restricción de pastoreo tuvieron una mayor capacidad de retención de carbono. Lo cual podemos relacionar con los sitios de estudio en Margen Este del embalse, pues además de haber removido la tierra antes de sembrar, estos terrenos eran mucho más sueltos en comparación a los sitios en Margen Oeste del embalse donde se observó que, a pesar del trabajo de remoción y descompactación de tierra en las unidades de siembra se formaban capas duras de suelo luego de la temporada de lluvia. Sin embargo, no se pudieron realizar análisis de textura de suelo para determinar las diferencias de tipo de suelos entre los márgenes.

Conclusión

En general la variable de sitio fue la que tuvo mayor influencia en todas las unidades de respuesta. No se pudo determinar que variable específica del sitio es la que influyó en los resultados, pero debido a la gran diferencia de P entre los sitios se piensa que este pudo ser el principal factor. El margen Este del embalse tuvo los mejores resultados de emergencia, supervivencia y crecimiento.

El experimento evidencia el paradigma de la siembra directa que es la baja emergencia de semillas y la alta mortalidad de las plántulas (Evans, 1982; Steven, 1991); en el caso de los sitios del margen Oeste, es probable que la especie objetivo no haya sido la adecuada para este tipo de enfoque de restauración debido a las condiciones específicas del sitio. Sin embargo, consideramos que en el margen Este si hubo éxito en la siembra directa con el uso de los tratamientos, pues a pesar de que no influyeron significativamente en la emergencia y supervivencia, si influyen en el crecimiento en comparación con las plántulas que no tuvieron ningún tipo de tratamiento.

Recomendaciones

Se sugiere que a futuro se realicen análisis de suelo de los sitios antes del inicio de los experimentos e investigar el nivel de impacto que tienen los terrenos y los posibles factores que puedan afectar al experimento como posibles herbívoros e intervención humana. Además, de realizar análisis como compactación, tipos de suelo, nutrientes, etc. Cubina & Aide, (2001), sugieren que estudios de densidad aparente, erosión y escorrentía, porosidad y capacidad de retención del agua son necesarios para determinar la calidad de los suelos y por lo tanto la posibilidad de éxito de siembra con especies más sensibles.

Recomendamos realizar más estudios sobre la ecología de *Oreocallis grandiflora* para entender cuáles son sus requerimientos de emergencia y supervivencia para lograr una restauración exitosa con esta especie. También es importante realizar más experimentos de siembra a distintos niveles de degradación de los terrenos, esto facilita la selección de la especie al momento de realizar programas de restauración a gran escala para determinar si es o no viable el uso de esta especie o la metodología de siembra adecuada según los requerimientos.

Para la siembra de *Oreocallis grandiflora*, basado en nuestros resultados sugerimos siembra de plántulas en lugar de siembra de semillas en el margen Oeste del embalse o sitios con características de suelo similares (Anexo 9) y el uso de enmiendas de suelo como las utilizadas en este experimento, pues todas demostraron un crecimiento mayor que sin el uso de enmiendas de suelo. En cuanto a la protección contra la herbivoría se recomienda realizar más experimentos con distintos métodos de exclusión como insecticidas (Prittinen et al., 2003; Bailey et al., 2021; Dick et al., 2016; Meiners et al., 2000) o mejorar la implementación de las mallas. Por ejemplo, sugerimos el uso de materiales que tengan mayor rigidez como mallas plásticas o metálicas de grano fino; también, sugerimos enterrar al menos 10 cm las mallas para evitar la apertura en la base debido al viento u otros factores que puedan mover las mallas.

Referencias

- Aguilera, K. (2018). El estado del arte de la restauración ecológica en los Andes Ecuatorianos hasta el año 2016 [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Quito, Ecuador
- Álvarez, C. R., Taboada, M. Á., Bustingorri, C., y Gutiérrez Boem, F. H. (2006). Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. En *Ciencia del suelo* (Vol. 24, Número 1). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Bailey, T., Harrison, P., Hanusch, Y., Ranyard, C., Hooghkirk, C., Davidson, N., Pinkard, E. & Potts, B. (2021). Investigating constraints on direct seeding for native revegetation in the Tasmanian Midlands. *Ecological Management & Restoration*. <https://doi.org/10.1111/emr.12498>
- Barbosa, F. S., Demolin-Leite, G. L., Monteze-Alves, S., Fonseca-Nascimento, A., de Abreu-D'Ávila, V. & Alves da Costa, C. (2011). Insecticide effects of *Ruta graveolens*, *Copaifera langsdorffii* and *Chenopodium ambrosioides* against pests and natural enemies in commercial tomato plantation. *CROP PROTECTION*. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5900>
- Barros-Díaz, C. (2024). Estado actual de la cobertura arbórea de Ecuador y sus regiones naturales. Oportunidades para mejorar los programas de conservación. *INVESTIGATIO*, 1(21). <https://doi.org/10.31095/investigatio.2024.21.5>
- Cárdenas, S., Niveló-Villavicencio, C., Cárdenas J., Landázuri, O. & Tinoco, B. (2017). First record of flower visitation by a rodent in Neotropical Proteaceae, *Oreocallis grandiflora*. *Journal of Tropical Ecology* 33(02):174-177. DOI:10.1017/S0266467417000025
- de Carvalho-Guimara, C. D., Rodrigues-Viana, J. P. & Cornelissen, T. (2014). A Meta-Analysis of the Effects of Fragmentation on Herbivorous Insects. *Environmental Entomology*, 43(3), 537–545. doi:10.1603/en13190
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment - A review. Horticultural Research Institute. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(4):239–249.
- Coello, J., Ameztegui, A., Rovira, P., Fuentes, C., & Piqué, M. (2018). Innovative soil conditioners and mulches for forest restoration in semiarid conditions in northeast Spain. *Ecological Engineering*, 118, 52-65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.015>
- Cole, R. J., Holl, K. D., Keene, C. L., & Zahawi, R. A. (2011). Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1590-1597. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.038>

- Crespo, A., e Inga, D. (2020). Superar las barreras para la revegetación a gran escala: estudio en el sur de Ecuador. En T. Bustamante & J. I. Zalles (Eds.), *De la parcela al paisaje: restauración forestal en los Andes ecuatorianos* (p. 37-67). Quito: Editorial FLACSO.
- Crespo, A., Aguilar, J. M., Pintado, K. & Tinoco, B. A. (2022). Key plant species to restore plant–hummingbird pollinator communities in the southern Andes of Ecuador. *Restoration Ecology* 30(3). DOI:10.1111/rec.13557
- Crespo, A., y Pintado, K. (2016). Influencia de la herbivoría y el deshierbe en la siembra directa de árboles nativos en un valle interandino del sur del Ecuador. Primer Congreso Ecuatoriano de Restauración de Paisajes CERP 2016, Loja, Ecuador.
- Cubina, A., & Aide, T. M. (2001). The Effect of Distance from Forest Edge on Seed Rain and Soil Seed Bank in a Tropical Pasture1. *Biotropica*, 33(2), 260-267. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00177.x>
- da Silva, A. P., & Kay, B. D. (1997). Estimating the Least Limiting Water Range of Soils from Properties and Management. *Soil Science Society of America Journal*, 61(3), 877-883.
- Day, R. W. & Quinn, G. P. (1989). Comparisons of Treatments After an Analysis of Variance in Ecology. *Ecological Monographs* 59 (4): 433-63. doi:10.2307/1943075
- Dick, K., Alexander, H. & Moczygemba, J. (2016). Use of shelter tubes, grass-specific herbicide, and herbivore exclosures to reduce stressors and improve restoration of semiarid thornscrub forests. *Restoration Ecology* 24(6). DOI:10.1111/rec.12373
- Doust, S. J. (2011). Seed Removal and Predation as Factors Affecting Seed Availability of Tree Species in Degraded Habitats and Restoration Plantings in Rainforest Areas of Queensland, Australia. *Restoration Ecology*, 19(5), 617-626. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00681.x>
- de Souza, D. C., Engel, V. L., & de Mattos, E. C. (2021). Direct seeding to restore tropical seasonal forests: effects of green manure and hydrogel amendment on tree species performances and weed infestation. *Restoration Ecology*, 29(1). <https://doi.org/10.1111/rec.13277>
- Evans, J. (1987). Plantation forestry in the tropics – trends and prospects. *International Tree Crops Journal*, 4(1), 3–15. <https://doi.org/10.1080/01435698.1987.9752805>
- Florentine, S. K., & Westbrooke, M. E. (2004). Restoration on abandoned tropical pasturelands-Do we know enough? *Journal for Nature Conservation*, 12(2), 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2003.08.003>
- Fong-García, M. A. y Fuentes-Montepeque, J. C. (2017). Caracterización técnica de la hidrosiembra con Mulch de refinación térmica para el control de erosión y arrastre de

sedimentos en taludes de corte y relleno de proyectos de infraestructura. Portal de Revistas de Guatemala (Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC). ISSN 2518-4725.

- Gerard, C. J. (1965). The Influence of Soil Moisture, Soil Texture, Drying Conditions, and Exchangeable Cations on Soil Strength. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), 641-645. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060017x>
- González, L., Granda, V., Muñoz, L., Torres, S., Aguirre, Zh. (2024). Contexto e implicaciones de la restauración ecológica y de paisajes. *Bosques Latitud Cero*, 14(1), 123-136. doi:<https://doi.org/10.54753/blcv14i1.2088>
- Goodale, U., Berlyn, G., Gregoire, T., Tennakoon, K. & Ashton. (2014). Differences in Survival and Growth Among Tropical Rain Forest Pioneer Tree Seedlings in Relation to Canopy Openness and Herbivory. *Biotropica* 46(2):183-193. DOI:10.1111/btp.12088
- Gokavi, N., Rudragouda, M. , K., Mukharib, D., Manjunath, A., & Raghuramulu. (2018). Performance of hydrogel on seed germination and growth of young coffee seedlings in nursery. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3).
- Hazlehurst, J., Tinoco, B., Cárdenas, S. & Karubian, J. (2016). Pollination ecology of *Oreocallis grandiflora* (Proteaceae) at the northern and southern ends of its geographic range. *Journal of Pollination Ecology* 19(10):71-80. DOI:10.26786/1920-7603(2016)4
- Holl, K. D. & Brancalion, P. H. (2020) Tree Planting Is Not a Simple Solution. *Science*, 368, 580-581. <https://doi.org/10.1126/science.aba8232>
- Howe, H. F. & Smallwood, J. (1982). Ecology of Seed Dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13(1), 201-228. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001221>
- Jie, C., Jing-zhang, C., Man-zhi, T., & Zi-tong, G. (2002). Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, 12(3), 304-304. <https://doi.org/10.1007/BF02837550>
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lemoine, N. P., Burkepille, D. E. & Parker, J. D. (2017). Insect herbivores increase mortality and reduce tree seedling growth of some species in temperate forest canopy gaps. *PeerJ* 5:e3102 <https://doi.org/10.7717/peerj.3102>
- Li, R., Li, Q. & Pan, L. (2020). Review of organic mulching effects on soil and water loss. *Archives of Agronomy and Soil Science* 67(1):1-16. DOI: 10.1080/03650340.2020.1718111
- McNair, J. N., Sunkara, A. & Frobish, D. (2012). How to analyze seed germination data using statistical time-to-event analysis: Non-parametric and semi-parametric methods. *Seed Science Research* 22 (2): 77-95. doi:10.1017/S0960258511000547

- Meiners, S. J., Handel, S. N. & Pickett, S. T. (2000). Tree seedling establishment under insect herbivory: edge effects and inter-annual variation. *Plant Ecology* 151(2):161-170. DOI:10.1023/A:1026509529570
- Minga Ochoa, D. y Verdugo Navas, A. (2016). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay / Editorial Don Bosco
- Neira, F., y Crespo, A. (2016). Influencia de diferentes tratamientos de polinización sobre características físicas y fisiológicas de semillas de *Oreocallis grandiflora* (Lam) R. Br. (Proteaceae). (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Nguyen, T. H., & Shindo, H. (2011). Effects of different levels of compost application on amounts and distribution of organic nitrogen forms in soil particle size fractions subjected mainly to double cropping. *Agricultural Sciences*, 02(03), 213-219. <https://doi.org/10.4236/as.2011.23030>
- Notman, E. y Gorchoy, D. (2001). Variation in Post-dispersal Seed Predation in Mature Peruvian Lowland Tropical Forest and Fallow Agricultural Sites. *Biotropica* Volume 33 (04), 621-636.
- Pablo-Rodríguez, J. L., Bravo-Monzón, A. E., Montiel-González, C., Benítez-Malvido, J., Álvarez-Betancourt, S., Ramírez-Sánchez, O., Oyama, K., Arena-Ortiz, M. L., Alvarez-Añorve, M. Y. & Avila-Cabadilla, L. D. (2023). Linking Anthropogenic Landscape Perturbation to Herbivory and Pathogen Leaf Damage in Tropical Tree Communities. *Plants*, 12(22), 3839. <https://doi.org/10.3390/plants12223839>
- Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Prieto-García, F., Meza-Rangel, J., Razo-Zarate, R. y de la Luz Hernández-Flores, M. (2016). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico: una revisión. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501.
- Perera, A.G. & Karunarathe, M.M. (2015). Eco-Friendly Alternatives for Storage Pest Management: Leaves of *Ruta Graveolens* (Aruda) as a Repellent Against the Rice Weevil, *Sitophilus Oryzae* L. *International Journal of Multidisciplinary Studies (IJMS)* Volume 2, Issue 2, 2015 <http://dr.lib.sjp.ac.lk/handle/123456789/6013>
- Ping, X. Y., & Wang, T. M. (2018). Effects of fencing and grazing on the temporal dynamic of soil organic carbon content in two temperate grasslands in Inner Mongolia, China. *Biological Rhythm Research*, 49(4), 539–550. <https://doi.org/10.1080/09291016.2017.1386873>
- Pintado, K. y Crespo, A. (2016). Influencia del microclima y labrado del suelo en la siembra directa de *Oreocallis grandiflora* en dos ecosistemas degradados del Sur del Ecuador. (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Prittinen, K., Pusenius, J., Koivunoro, K. & Roininen, H. (2003). Genotypic variation in growth and resistance to insect herbivory in silver birch (*Betula pendula*) seedlings. *Oecologia*, 137, pages 572–577

- Rasiah, V., Florentine, S. K., Williams, B. L., & Westbrooke, M. E. (2004). Soil properties dynamics under abandoned pasture in deforested tropical rain-forest in Australia. *Geoderma*, 120,35–45.
- Reis, L. K., Damasceno Junior, G. A., Battaglia, L. L., & Garcia, L. C. (2021). Can transplanting seedlings with protection against herbivory be a cost-effective restoration strategy for seasonally flooded environments? *Forest Ecology and Management*, 483, 118742. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118742>
- Rivera, D. R. (2019). Emergencia de semillas y crecimiento inicial de cuatro especies forestales nativas del bosque de Nero, Provincia del Azuay. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Cuenca, Ecuador.
- Rolando, C. A. & Little, K. M., (2016). Measuring water stress in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden seedlings planted into pots. *South African J. Bot.*, vol. 74, no. 1, pp. 133–138, 2008.
- Sánchez, A. C., Jones, S. K., Purvis, A., Estrada-Carmona, N. & de Palma, A. (2022). Landscape complexity and functional groups moderate the effect of diversified farming on biodiversity: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 332 (2022) 107933. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107933>
- Schmidt, L. (2008). A review of direct sowing versus planting in tropical afforestation and land rehabilitation. Frederiksberg: Museum Tusulanum. *Development and Environment*, No. 10-2008
- Shen, J., Lixing, Y., Zhang, J., Li, H., Hai Bai, Z., Ping Chen, X., Feng Zhang, W. & Zhang, F. (2011). Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. *Plant Physiology* 156(3):997-1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>
- Sierra, R. (2013). Patrones y factores de deforestación en el ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. www.forest-trends.org
- Sintim, H. Y., Bandopadhyay, S., English, M. E., Bary, A., Liquey y González, J. E., DeBruyn, J. M., Schaeffer, S. M., Miles, C. A., & Flury, M. (2021). Four years of continuous use of soil-biodegradable plastic mulch: impact on soil and groundwater quality. *Geoderma*, 381. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114665>
- Steven, D. (1991). Experiments on Mechanisms of Tree Establishment in Old-Field Succession: Seedling Emergence. *Ecology*, 72(3), 1066-1075. <https://doi.org/10.2307/1940606>
- Strehmel, A., Schönbrodt-Stitt, S., Buzzo, G., Dumperth, C., Stumpf, F., Zimmermann, K., Bieger, K., Behrens, T., Schmidt, K., Bi, R., Rohn, J., Hill, J., Udelhoven, T., Xiang, W., Shi, X., Cai, Q., Jiang, T., Fohrer, N. & Scholten, T. (2015). Assessment of geo-hazards in a rapidly changing landscape: the three Gorges Reservoir Region in China. *Environ Earth Sci* 74, 4939–4960 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4503-7>

- Valladolid Ontaneda, J., León Mejía, A. y Paredes Tomalá, D. (2017). Selección de Árboles Semilleros en Plantaciones Forestales de la Península de Santa Elena. Ecuador. Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU). <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i2.261>
- Vintimilla, D. y Crespo, A. (2019). Variación en las características fenotípicas de semillas de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R.Br. de cuatro poblaciones de la provincia del Azuay. (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Young, I. M., Montagu, K., Conroy, J., & Bengough, A. G. (1997). Mechanical impedance of root growth directly reduces leaf elongation rates of cereals. *New Phytologist*, 135(4), 613-619. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00693.x>

Anexos:

Anexo 1. Ficha para registro de emergencia de *Oreocallis grandiflora*. GN: emergente nuevo, GH: emergente con herbivoría, GM: emergente Muerto

Técnico(s) de campo:							
Lugar:					Reg. de emrg.		
Fecha de muestreo:							
Parcela	Fecha Siembra	Trat.	SP	Código	GN	GH	GM
1	3/08/2022	T1	ORE	001			
1	3/08/2022	T6	ORE	002			
1	3/08/2022	T4	ORE	003			
1	3/08/2022	T3	ORE	004			
1	3/08/2022	T7	ORE	005			
1	3/08/2022	T9	ORE	006			
1	3/08/2022	T5	ORE	007			
1	3/08/2022	T2	ORE	008			
1	3/08/2022	T8	ORE	009			
2	3/08/2022	T1	ORE	010			
2	3/08/2022	T3	ORE	011			
2	3/08/2022	T4	ORE	012			
2	3/08/2022	T6	ORE	013			
2	3/08/2022	T7	ORE	014			
2	3/08/2022	T9	ORE	015			
2	3/08/2022	T5	ORE	016			
2	3/08/2022	T2	ORE	017			
2	3/08/2022	T8	ORE	018			

Anexo 2. Ficha de registro de supervivencia de *Oreocallis grandiflora*. Se registra el número de plántulas vivas (PV) y plántulas muertas (PM) por cada unidad experimental.

Técnico(s) de campo:					Registro de supervivencia	
Lugar:						
Fecha de muestreo:						
Parcela	Fecha Siembra	Trat.	SP	Código	PV	PM
1	3/08/2022	T1	ORE	001		
1	3/08/2022	T6	ORE	002		
1	3/08/2022	T4	ORE	003		
1	3/08/2022	T3	ORE	004		
1	3/08/2022	T7	ORE	005		
1	3/08/2022	T9	ORE	006		
1	3/08/2022	T5	ORE	007		
1	3/08/2022	T2	ORE	008		
1	3/08/2022	T8	ORE	009		
2	3/08/2022	T1	ORE	010		
2	3/08/2022	T3	ORE	011		
2	3/08/2022	T4	ORE	012		
2	3/08/2022	T6	ORE	013		
2	3/08/2022	T7	ORE	014		
2	3/08/2022	T9	ORE	015		
2	3/08/2022	T5	ORE	016		
2	3/08/2022	T2	ORE	017		
2	3/08/2022	T8	ORE	018		

Anexo 3. Ficha de registro de crecimiento de *Oreocallis grandiflora*. Se registra el tamaño en centímetros de las plántulas después de 6 meses

Técnico(s) de campo:					Registro de crecimiento				
Lugar:		Sitio Este tres							
Fecha de muestreo:									
Parcela	Fecha Siembra	Trat.	SP	Código	1	2	3	4	5
1	3/08/2022	T1	ORE	001					
1	3/08/2022	T6	ORE	002					
1	3/08/2022	T4	ORE	003					
1	3/08/2022	T3	ORE	004					
1	3/08/2022	T7	ORE	005					
1	3/08/2022	T9	ORE	006					
1	3/08/2022	T5	ORE	007					
1	3/08/2022	T2	ORE	008					
1	3/08/2022	T8	ORE	009					
2	3/08/2022	T1	ORE	010					
2	3/08/2022	T3	ORE	011					
2	3/08/2022	T4	ORE	012					
2	3/08/2022	T6	ORE	013					
2	3/08/2022	T7	ORE	014					
2	3/08/2022	T9	ORE	015					
2	3/08/2022	T5	ORE	016					
2	3/08/2022	T2	ORE	017					
2	3/08/2022	T8	ORE	018					

Análisis de emergencia y supervivencia

Anexo 4. A) Resultado estadístico del análisis de emergencia mediante Log-Rank Test, en cuanto a los nueve tratamientos de siembra. **B)** Resultado estadístico del análisis de supervivencia mediante Log-Rank Test, en cuanto a los nueve tratamientos de siembra.

A

Log-Rank Test:		
Statistic	DF	P Value
6,914	8	0,546

B

Log-Rank Test:		
Statistic	DF	P Value
12,699	8	0,123

Anexo 5. Resultado estadístico del análisis de emergencia mediante Log-Rank Test, en cuanto a los seis sitios experimentales. Al ser estadísticamente diferentes se realiza un análisis de comparación múltiple mediante el método Bonferroni.

Log-Rank Test:		
Statistic	DF	P Value
49,060	5	<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	Unadjusted P Value	Critical Level	Significant?
Cruz Pamba vs. LlamaconE	28,909	0,000000759	0,00333	Yes
Cruz Pamba vs. ChalacayE	0,0334	0,855	0,00333	No
Cruz Pamba vs. Juntas	10,127	0,00146	0,00333	Yes
Cruz Pamba vs. Palmas	0,111	0,739	0,00333	No
Cruz Pamba vs. LlamaconC	18,429	0,0000176	0,00333	Yes
LlamaconE vs. ChalacayE	20,016	0,00000768	0,00333	Yes
LlamaconE vs. Juntas	7,553	0,00599	0,00333	No
LlamaconE vs. Palmas	23,219	0,00000145	0,00333	Yes
LlamaconE vs. LlamaconC	4,803	0,0284	0,00333	No
ChalacayE vs. Juntas	6,116	0,0134	0,00333	No
ChalacayE vs. Palmas	0,00242	0,961	0,00333	No
ChalacayE vs. LlamaconC	9,878	0,00167	0,00333	Yes
Juntas vs. Palmas	7,481	0,00623	0,00333	No
Juntas vs. LlamaconC	1,045	0,307	0,00333	No
Palmas vs. LlamaconC	13,371	0,000256	0,00333	Yes

Anexo 6. Resultado estadístico del análisis de supervivencia mediante Log-Rank Test, en cuanto a los seis sitios experimentales. Al ser estadísticamente diferentes se realiza un análisis de comparación múltiple mediante el método Bonferroni.

Log-Rank Test:				
Statistic	DF	P Value		
15,897	5	0,007		
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 = 0,007).				
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	Unadjusted P Value	Critical Level	Significant?
Llamacón C vs. Chalacay E	7,417	0,00646	0,00333	Yes
Llamacón C vs. Cruz Pamba	12,455	0,000417	0,00333	Yes
Llamacón C vs. Juntas	5,930	0,0149	0,00333	Yes
Llamacón C vs. Llamacón E	0,600	0,439	0,00333	No
Llamacón C vs. Palmas	6,016	0,0142	0,00333	Yes
Chalacay E vs. Cruz Pamba	0,924	0,336	0,00333	No
Chalacay E vs. Juntas	0,325	0,569	0,00333	No
Chalacay E vs. Llamacón E	1,727	0,189	0,00333	No
Chalacay E vs. Palmas	0,283	0,595	0,00333	No
Cruz Pamba vs. Juntas	2,264	0,132	0,00333	No
Cruz Pamba vs. Llamacón E	4,011	0,0452	0,00333	Yes
Cruz Pamba vs. Palmas	2,300	0,129	0,00333	No
Juntas vs. Llamacón E	1,100	0,294	0,00333	No
Juntas vs. Palmas	0,0141	0,906	0,00333	No
Llamacón E vs. Palmas	1,084	0,298	0,00333	No

Crecimiento y número de hojas

Anexo 7. Resultado del modelo de regresión lineal. Relación de la inversa del crecimiento de plántulas con las variables de número de hojas (inverso), sitios experimentales e interacción de los tratamientos de suelo con los tratamientos de herbivoría (Rstudio). Debido a que se analizó con los valores inversos para normalizar los datos, los resultados de esta tabla se interpretan con su signo contrario, es decir valores positivos en realidad son valores negativos y de la misma manera los valores negativos.

Coefficients:					
	Estimado	Error estándar	Valor t	Valor p	
(Intercepto)	0,337077	0,006461	52,171	<2e-16	***
Número de hojas_inv	-0,152290	0,012723	-11,970	<2e-16	***

Sitio Este dos	-0,022711	0,005229	-4,343	0,000022	***
Sitio Oeste uno	-0,017522	0,005525	-3,172	0,00175	**
Sitio Este tres	0,033266	0,005511	-6,036	7,23E-09	***
Control:Control	0,022772	0,008349	2,728	0,00693	**
Hidrogel:Control	0,00106	0,009289	0,114	0,9093	
Mulch:Control	-0,002141	0,006856	-0,312	0,75517	
Control:Tul	-0,008647	0,007205	-1,200	0,23143	
Hidrogel:Tul	0,015015	0,007026	2,137	0,03377	*
Mulch:Tul	-0,004251	0,008503	-0,5	0,61765	
Control:Ruda	-0,002524	0,007378	-0,342	0,73259	
Hidrogel:Ruda	0,006804	0,008273	0,822	0,41182	
Mulch:Ruda	NA	NA	NA	NA	
Signif. cod: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Error estándar residual: 0.02534 en 206 grados de libertad					
R cuadrado múltiple: 0.5411, R cuadrado ajustado: 0.5143					
Estadística F: 20.24 en 12 y 206 grados de libertad, valor p: < 2.2e-16					

Mortalidad y herbivoría

Anexo 8. Resultado del modelo de regresión lineal. Relación de la proporción de mortalidad de plántulas con las variables de herbivoría (sin herbivoría: 1; con herbivoría: 0) y los sitios experimentales (Rstudio).

Coeficientes:					
	Estimado	Error estándar	Valor t	Valor P	
(Intercepto)	0,42056	0,07287	5,771	3,22E-07	***
Ausencia de herbivoría	0,28108	0,07485	3,755	0,000403	***
Sitio Este dos	-0,28000	0,09257	-2,679	0,009592	**
Sitio Oeste uno	-0,13818	0,10315	-1,340	0,185594	
Sitio Este tres	-0,08976	0,09486	-0,946	0,347972	

Signif. cod: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Error estándar residual: 0,269 en 58 grados de libertad
R cuadrado múltiple: 0,2618, R cuadrado ajustado: 0,2109
Estadística F: 5,143 en 4 y 58 grados de libertad, valor p: 0,001291

Anexo 9. Tabla de caracterización de suelo, considerando los sitios del margen Este y Oeste.

Margen	pH	Conductividad eléctrica	Na ppm	Mg ppm	Ca ppm	N ppm	P ppm	K ppm	OM	C ppm
Este	5,97	66,33	0,33	1,10	0,80	0,48	10,22	0,29	10,68	5,66
Oeste	5,70	82,68	0,26	1,64	0,67	0,63	4,37	0,32	13,85	7,34